

MAGYAR
CHEMIAI FOLYÓIRAT

XXIII. (1917.) ÉVFOLYAMÁNAK MELLÉKLETE.

WESZELSZKY:

A RÁDIÓAKTÍVITÁS



XIV. MELLÉKLET.

L. 66

CHEMICAL LABORATORY

FOR THE ANALYSIS OF MINERAL WATERS

ANALYSIS OF MINERAL WATERS



546-1



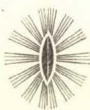
A
RÁDIÓAKTÍVITÁS

IRTA

WESZELSZKY GYULA DR.

A MAGYAR CHEMIAI FOLYÓIRAT XXIII. ÉVFOLYAMÁNAK
MELLÉKLETE

52 KÉPPEL



BUDAPEST

A KIR. MAGY. TERMÉSZETTUDOMÁNYI TÁRSULAT KIADÁSA
BUDAPEST, VIII., ESZTERHÁZY-UTCZA 16
1917



ELŐSZÓ.

A chemia és a fizika legfiatalabb ága: a rádióaktivitás. Mint minden fiatal hajtás, ez is dúsan rügyezik, erősen hajt. Talán sok rajta a vadhajtás, a lenyesnivaló; de már terebélyes ággá nőtt. Alig húsz éves e fiatal ág, de már annyi hajtása van, hogy nehéz azok között eligazodni. A Magyar Chemiai Folyóirat szerkesztőbizottsága elhatározta, hogy a folyóirat olvasóit, az e téren eddig elért legfontosabb eredményekről, összefoglaló munkában tájékoztatja. A szerkesztőbizottság e munka megírásával engem bízott meg.

Nehéz feladat előtt állottam, mikor e megtisztelő megbízatást elvállaltam. Sokan dolgoznak e téren és gyors egymásutánban sok, sokszor egymásnak ellentmondó közlemény lát napvilágot, amelyek között nehéz eligazodni. Idegen nyelven már több összefoglaló munka jelent meg, de ezek részben egészen nagy kézikönyvek, amelyek, sokszor minden megjegyzés nélkül, az egyes dolgozatok rövid kivonatait sorolják fel és kizárólag a rádiológusok számára íródtak; másrészt egészen kisterjedelmű, ismeretterjesztő munkák, melyeknek célja, hogy az egészen laikus olvasót, vagy a kezdőket, a rádióaktivitás elemi fogalmaival megismertessék. Nagy nehézséget okoz ezek használatánál, a rádióaktivitásról szóló ismereteink rohamos fejlődése. Ennek következménye, hogy a rádióaktivitásról szóló kézikönyvek legtöbbje, alig hogy megjelent, máris elavult; az alig néhány évre megjelenő újabb könyvekben egészen új fogalmakkal találkozunk, a régiak megváltoznak, sőt megváltozik az egyes anyagok elnevezése is. E körülmény sok zavart okoz.

Célom kettős volt: egyrészt, hogy összefoglaló, lehetőleg áttekinthető képet adjak azoknak, akik e tárggyal csak általánosságban akarnak megismerkedni; másrészt, hogy vezető fonalat adjak azok kezébe, kik e tárggyal behatóbban kívánnak foglalkozni. Egyrészt ezért, másrészt, mivel e könyv terjedelme nem engedi meg, hogy részletekbe bocsátkozzam, a rádióaktív mérési módszereknek éppen csak az elvét ismertetem meg; egyedül csak a rádium-emanáció mennyiségi meghatározását irtam le részletesebben, azért, mivel e meghatározásokra gyakran olyanoknak

is szükségük van, például geológusoknak és orvosoknak, akiknek az egyéb részletek ismeretére nincs szükségük.

Miután nem lehetett kézikönyvirás a célom, könnyen kezelhető munkát akartam adni, mert az egyes kísérletek leírásánál nem is tűntem föl — mint az a kézikönyvekben szokásos — az eredeti közleményeket csillag vagy szám alatt külön-külön, amelyekből a kísérlet leírását átvettem.

A könyv nyelvezete helyenkint nem egészen világos, határozatlan; de nehéz tudományos munkát könnyen gördülő stílusban megírni, és különösen nehéz ilyen, rohamosan fejlődő tudományágnak olyan részleteit határozott hangon és világosan leírni, amelyekről maga az író sem tud magának határozott nézetet formálni; és nehéz az olyan kísérleteket, amelyek sok mellékkörülmény ismeretét kívánják meg, röviden és velősen leírni. Nagy segítségemre volt, hogy Balló Rezső szerkesztő, a kéziratot átolvasva, a homályosabb részletekre figyelmemet fölhívta; ezeket, amennyire lehetséges volt, iparkodtam világosabban átírni. Ezért, valamint a könyv sajtó alá rendezésénél tanúsított buzgó támogatásáért, hálás köszönetemet kell kifejeznem.

Segédmunkául az alább felsorolt könyveket és folyóiratokat használtam: Abbe's Handbuch der anorganischen Chemie, Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft, Comptes Rendus d. Congrès international de Radiologie et d'électricité, Bruxelles, 1911, Curie: Die Radioaktivität, Gockel: Die Radioaktivität von Boden und Quellen, Hupka: Die Interferenz von Röntgenstrahlen, Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik, Le Radium, Marx: Handbuch der Radiologie, Mayer St. und v. Schweidler E.: Radioaktivität, Petraschek: Die nutzbaren Radiumvorräthe der Erde, Physikalische Zeitschrift, Rutherford: Die Radioaktivität, Rutherford: Radioaktive Umwandlungen, Sitzungsberichte der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien, Soddy: Die Chemie der Radioelemente, Zeitschrift für anorganische Chemie.

A rajzokat, a legtöbbjét célomnak megfelelőleg módosítva, a főt említett munkákból vettem át. A fényképmásoknál még külön-külön, a szövegben is megemlítettem a munkát, amelyekből azokat átvettem. A rajzokat, az eredetiek után, utasításom szerint módosítva, Gáspár Dezső fővárosi rajztanár rajzolta.

Budapest, 1917. évi október hava.

Weszeliszky Gyula.

TARTALOMJEGYZÉK.

	Oldal		Oldal
Bevezetés	1	Thórium előfordulása	135
Katód-, anód- és Röntgen-sugarak	5	— története	136
Gázionok	12	— előállítása	136
α -, β - és γ -sugarak	19	— tulajdonságai	139
A rádióaktív mérési módszerek	36	— rádióaktív viselkedése	140
A rádióaktív jelenségek elméleti magyarázata	42	— mezothórium I	142
Az uránium és közvetlen átalakulási termékei	56	— mezothórium II	144
— előfordulása	56	— rádióthórium	145
— története	58	— X	145
— előállítása	59	— -emanáció	146
— sajátosságai	59	— A	148
— rádióaktív viselkedése	61	— B	149
— X	64	— C	150
— X_1 és X_2	66	— D	153
— I és uránium II	67	— sorozat végterméke	153
— Y	68	— és mezothórium mennyiségi meghatározása	154
ónium	71	Az áktinium és átalakulása termékei	156
Rádium	74	— előfordulása	156
— előfordulása	74	— története	156
— története	78	— előállítása	156
— előállítása	82	— kémiai tulajdonságai	157
— sajátosságai	85	— rádióaktív viselkedése	157
— rádióaktív viselkedése	86	— rádióáktinium	158
— -emanáció	87	— X	159
— rádióaktív lerakódása	97	— emanáció	159
— A	100	— A	160
— B	100	— B	160
— C	102	— C	161
— D	104	— D	161
— E	105	— átalakulásának végterméke	162
— F	106	— mennyiségi meghatározása	162
— bomlási végterméke	107	Kálium és rubidium sugárzótehetsége	164
— meleg termelése	108	Rádióaktivitás és az atom-elmélet	166
— és a föld melege	110	elektrón-elmélet	166
— és a föld életkora	113	plejád-elmélet	168
— sugarai és a testek színeződése	115	Röntgen-spektrum	174
— mint gyógyító tényező	117	a dezintegrációs, az elektrón, a plejád- és az atom-elmélet	179
— mennyiségi meghatározása	117		
Thórium és átalakulási termékei	135		



Bevezetés.

Rádióaktivitás egyes anyagok azon tulajdonsága, hogy minden külső behatástól menten, a Crookes-féle csövekben keletkező, katód, anód és Röntgen-sugarakhoz hasonló, láthatatlan sugarakat lövellnek ki. A különböző sugaraknak tanulmányozása kizárólag a fizikusok feladata és tényleg az elért eredmények tekintélyes részét a fizikusoknak köszönhetjük. A rádióaktivitás azonban anyaghoz kötött jelenség és mint az eddigi tanulmányaink mutatják, a sugárzás az anyagok megváltozásával jár, ami több eddig ismeretlen új elem fölfedezéséhez vezetett.

Úgy az anyagok belső szerkezetének, mint az azokban végbemenő változások, továbbá az elemeknek, mint ilyeneknek tanulmányozása, már a vegyész feladata. Igaz ugyan, hogy a sugárzó anyagok közül azoknak, amelyek mérhető mennyiségben találhatók, a sugárzás okozta megváltozása oly lassú lefolyású, hogy azt a rendelkezésünkre álló eszközökkel közvetlenül megállapítani nem tudjuk, másrészt az újonnan fölfedezett rádióaktív elemi anyagok oly kis mennyiségben találhatók, hogy azok vizsgálatára a vegyésznek ilyen esetekben alkalmazni szokott módszerei és eszközei nem használhatók s így ezen a téren is főként a közvetett megfigyelésre és az azokból vont, természetesen sokszor bizonytalan következtetésre vagyunk utalva. E körülmények meglehetősen nehéz feladat elé állítanak minket. A tárgy maga és az e téren elért eredmények bennünket a lehető legközelebből érdekelnek, de az eredményre vezető út, szokatlan. Eszerint csak két lehetőség áll előttünk, egyrészt fizikusok eredményeinek lehető legszorgosabb figyelemmel kísérése, másrészt, ha nem akarunk e kutatásoknak egyszerű szemléltetői maradni, úgy akként fogunk eljárni, mint azt eddig is minden újabb fölfedezésnél tettük, hogy kiegészítjük kutatási módszereinket és a munkából magunknak is részt kérünk.

Mikor a mult század végén Dalton, a mocsárgáz és az olajképzőgáz, továbbá a nitrogénmonoxid és nitrogéndioxid összetételének vizsgálása közben azon tapasztalatával, hogy az előbbi két esetben a hidrogén és a szén, az utóbbi két esetben pedig a nitrogén és oxigén jelenlévő mennyiségének arányszáma pontosan a kétszeresére emelkedik, fölfedezte a sokszoros súlyviszonyok törvényét és fölállította az atom-

elméletet, oly alapkövet teremtett úgy az elméleti, mint gyakorlati chemia részére, amelyre épített ismereteink már egy évszázada, szilárdan ellentállanak az idő viszontagságának és minden valószínűség mellett szól, hogy a jövőben is megállják a helyüket. Noha az atomok létezését közvetlenül bebizonyítani nem lehetett, de eddig egyetlen egy olyan tapasztalati tény nem merült föl, amely ezek létezésének ellentmondana és bár a chemiai kísérletezés módszerei folytonosan tökéletesednek és ma olyan energiaforrások állnak rendelkezésünkre, amelyekre Dalton idejében még gondolni sem lehetett, még sem sikerült ezek hatásával egyetlen egy chemiai elemet, mint elemet megváltoztatni. Ez a tény sokakat arról győzött meg, hogy az atomok a szó szoros értelmében véve is egyszerű anyagok és azok az oszthatóságnak legvégsőbb határát adják.

E meggyőződés azonban ezelőtt sem volt egészen általános. Hogy nem volt az, bizonyítja a múlt század 80-as éveiben megjelent egyik tankönyvből, az annak idején meglehetősen elterjedt Lengyel-féle chemia 18. oldaláról vett következő idézet: „Az ez idő szerint ismert elemek vagy egyszerű testek száma felül van a hatvanon. Pontosan azért nem adjuk számukat, mert az újabban fölfedezettek között vannak olyanok, melyekről minden kétséget kizárólag még nem tudjuk, hogy valóban elemek-e. Egyébiránt általánosabb szempontból véve a dolgot, meglehetősen közönyös is, hogy 70 vagy 80 elem ismeretes-e ez idő szerint; közönyös pedig azért, mert nincs ok föltenni, hogy a természetben előforduló testek képzésére éppen 70 vagy 80 elem lenne szükséges; sőt ellenkezőleg föltehetjük több jogosultsággal, hogy a valódi elemek száma jelentékenyebben kisebb s hogy *nincs kizárva az, miszerint a jelenleg elemeknek tartott testeket idővel lehetséges lesz, mint összetett testeket fölismerni.*“

Hogy az atomok maguk is még kisebb részekből lehetnek összetéve, azt sokan az elemek periodusos rendszerében megnyilvánuló törvényszerűségből következtették. Mások ismét, a nap koronájának, továbbá a ködfoltoknak színekéből és abból az elméletből, mely szerint a föld és a többi égi testek, ilyen ködfoltokból sűrűsödtek össze, következtettek az atomok összetett voltára. E föltevések azonban inkább csak sejtésen alapultak és egyetlen olyan kísérleti tényre nem akadtunk, ami ezeknek alapot adott volna. A katódsugarak, illetve az azokkal végzett tanulmányok voltak az első kísérleti bizonyítékok, melyek az atomoknál kisebb testek létezése mellett szólottak és a rádióaktív anyagok viselkedése újabb támpontot ad e föltevésnek.

A Dalton-féle atomelmélet százados, fényes multtal dicsekszik. Nemcsak a chemia, de a természettudományok más terén is annyi nagy fölfedezés köszöni létét ezen elméletnek, hogy az, még az esetre

is, ha megdőlné, a chemia történetében elsőrangú helyet biztosítana magának. De amint eddig, úgy most sem ismerünk még oly tényt, amely ennek az elméletnek ellentmondana. A rádióaktív anyagok viselkedése, illetve ezek tanulmányozása közben szerzett tapasztalataink nemcsak nem támadni, de megerősíteni látszanak azt, amennyiben, ezek szerint nemcsak az anyag, de már az energia egyik faja, az elektromos energia is atómos szerkezetűnek látszik.

A rádiumot, az urániumot és a thoriumot viselkedésük alapján elemeknek kell tartanunk. Ez anyagok azonban magukból láthatatlan sugarakat lövellnek ki és belőlük, többektől bebizonyítottan, hélium keletkezik.

Rutherford és Soddy elmélete szerint, amelyet a rádióaktív jelenségek magyarázására általánosan elfogadtak, a rádióaktív anyagok atómjai folytonos átalakulást, bomlást szenvednek; ezt az átalakulást a mostani eszközeinkkel sem elősegíteni, sem hátráltatni nem tudjuk. Ez elmélet szerint az atóмок részeczből összetettek s e föltevést kísérleti tények is támogatják. Ezen elmélet, noha az atóмокot részeczből állóknak mondja, nem támadja az atóm elméletet, mert atóмок létezését föltételezi, sőt azt állítja róluk, hogy mi azokat fölbontani nem tudjuk. De nem támadná meg ez elméletet az sem, ha esetleg sikerülne oly energiaforrások birtokába jutnunk, amelyekkel az atóмокot mesterségesen is részekre tudnók bontani. Ennek ellenére a vegyész épp úgy építheti tovább a szénvegyületeknek atóмокra alapított szerkezeti képleteit mint eddig, az elemző folytathatja megszokott műveleteit, a különbség mindössze csak az lesz, hogy a molekulán, a gyökön és az atómon kívül még újabb fogalmakat fogunk használni. Hogy az atóмок részeczből állhatnak, eddig sem tartottuk lehetetlennek, de eddig ezt az eshetőséget számításon kívül hagytuk, mert erre semmiféle kísérleti támaszpontunk nem volt és ennek számításbavételére semmi sem kényszerített. Most azonban olyan tapasztalati tényekre bukkantunk, amelyek hivatva látszanak lenni arra, hogy nekünk ezt a kérdést is megvilágítsák. Igaz ugyan, hogy az ez irányban végzett kísérletek tekintélyes részét fizikusok végezték, de figyelemmel kísérjük ezeket, mert az anyag belső szerkezetének megismerése, ha túl is terjed az atóмок birodalmán, bennünket is érdekel, illetve elsősorban bennünket érdekel; ezért nem is elégszünk meg azzal, amit e téren mások termelnek, magunk is részt veszünk már e kutatásokban. Rutherford a fizikus és Soddy a vegyész a megalapítói a dezintegrációs elméletnek és velük együtt, a fizikusok és vegyészek egész serege dolgozik az elméletet továbbfejlesztésén és fölmerült újabb kérdések megoldásán; mert mint minden fölfedezés után a jelen esetben is az újabb kérdések nagy száma merül föl, amelyek még megoldásra várnak. E kérdések egy részére, — amint látni fogjuk — már úgy ahogy megfelelhetünk, de megoldásuk még nem tökéletes, egyike-

másika egymásnak ellentmond, némelyike még meglezős kételyeket vált ki, de valószínű, hogy rövidesen ez is megszűnik, amikor nemcsak a rádióaktivitás jelenségét tudjuk kielégítően magyarázni, de vele együtt kémiai, fizikai és általános természettudományi ismereteinket, általánosságban is erősen kimélyítjük.

1896-ban fedezte föl Becquerel Henry a rádióaktivitás jelenségét. Azóta húsz év telt el és ezen aránylag rövid idő alatt ismereteink e téren, aránytalanul gyorsan fejlődtek. E gyors haladást jórészt annak köszönhetjük, hogy a rádióaktív anyagok sugarai, hasonlóak a Crookes-féle csőben keletkező katód, anód és a Röntgen-féle sugarakhoz és e sugarakat már azelőtt is behatóan tanulmányozták. E tanulmányok megkönnyítették a rádióaktív anyagokkal való kísérletezést. Erre való tekintettel, természetesen csak annyira, amennyire a mi céljaink megkívánják, mielőtt a rádióaktív testek viselkedésével foglalkoznánk, röviden e sugarakkal fogunk megismerkedni.

A katód-, anód- és Röntgen-sugarak.

Ha két, üvegcsőbe forrasztott elektród között elektromos szikrát üttetünk át és közben a csőben lévő levegőt ritkítjuk, úgy már aránylag kis ritkítás mellett tapasztaljuk, hogy az eredetileg szakadozott szikra, néhány az anódot a katóddal összekötő keskeny, ibolyaszínű sávva alakul át. Erősebb ritkításnál e sávok egy, az anódról kiinduló szélesebb sávva olvadnak össze, amely az egész csövet kitölti, és amelyet a katódtól egy szélesebb köz (Faraday-féle sötét tér) választ el. Ugyanakkor az anód körül lilaszínű aureola keletkezik. Még nagyobb — mintegy 2 mm higanyoszlop nyomásának megfelelő — ritkításnál, az anódról kiinduló (pozitív) fénykéve rétegzetté válik. E rétegek mind szélesebbekké lesznek, s végül egy milliomod légköri nyomáson alul teljesen eltűnnek, a fénytünemény megszűnik s helyette a csőnek a katóddal szemben eső oldala halványzöldes színnel világítani kezd. E gyenge, zöldes világítás, melyet a katódról kiinduló, láthatatlan sugaraknak az üveghez ütdése okoz, jobban észlelhető, ha a katódot korongalakúlag kiszéleltjük. A pozitív fény és a katódsugár között lényeges különbség van. A pozitív fény 2—3 mm higanyoszlopnak megfelelő nyomás mellett a legélénkebb és egy milliomod légköri nyomás (0.00076 mm higanyoszlop) alatt eltűnik. A pozitív fény az anódról indul ki s mindig a katód felé halad, a cső görbületeit követi, ha az anódot oldalt helyezzük a fénykéve is arra hajlik.

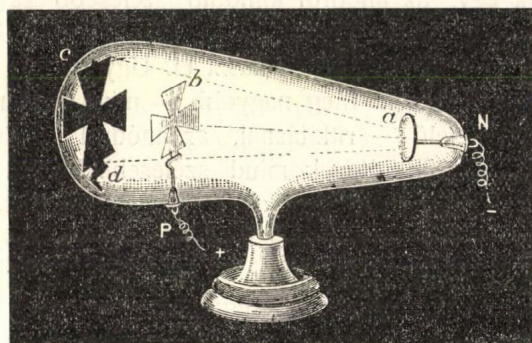
A katódsugár a pozitív fény tűnésével kezd jelentkezni. A *katódsugár láthatatlan*, de üveghez ütdve, ez gyengén világít, amiről föl ismerhető. A katódsugár, mint a neve is mutatja, a katódról indul ki és függetlenül az anód elhelyezésétől a *katód felületére merőlegesen, egyenes irányban halad*. E tényt, legegyszerűbben oly módon bizonyíthatjuk, hogy ha a csőnek körtealakot adunk, a korongalakú katódot a cső keskenyebb végébe téve, vele szemben fémből készült keresztet helyezünk el, úgy azt tapasztaljuk, hogy a katódról kiinduló sugarak, a csőnek a katóddal szemben lévő szélesebb részét gyenge világításra indítják, de a kereszt árnyékának megfelelő részt sötétben hagyják. (1. rajz.)

Ha a Crookes-féle csőbe, a katóddal szemben kalciumsulfidot, spodument, rubint, gyémántot stb. helyezünk el (2. rajz), úgy katód-sugarak hatására az első kékes, a második aranyásrga, a harmadik rubinvörös, a negyedik pedig zöldes fényvel világít.

Ha homorú fémlamezből készült katód (3. rajz) (a) gyújtópontjába platinalemezt (b) helyezünk el, úgy a katód felületére merőlegesen haladó sugarak, a platinalemez egy pontján találkoznak s azt izzásba hozzák, sőt hosszabb idei hatás esetén meg is olvasztják.

Üvegsínekre helyezett, csillámhengerekből készült lapátos kerék, (4. rajz) a katódsugarak hatására forgásnak indul s a katóddal ellentétes irányban halad. A jelenség a szélalmok mozgásához hasonló, amelyek kerekeit a lapátokhoz ütődő levegőrészecskék mozgatják.

Az imént említett két kísérlet amellet szól, hogy a katódsugár, a katódról nagy sebességgel tovaröpített anyagi részecskékből áll. Más



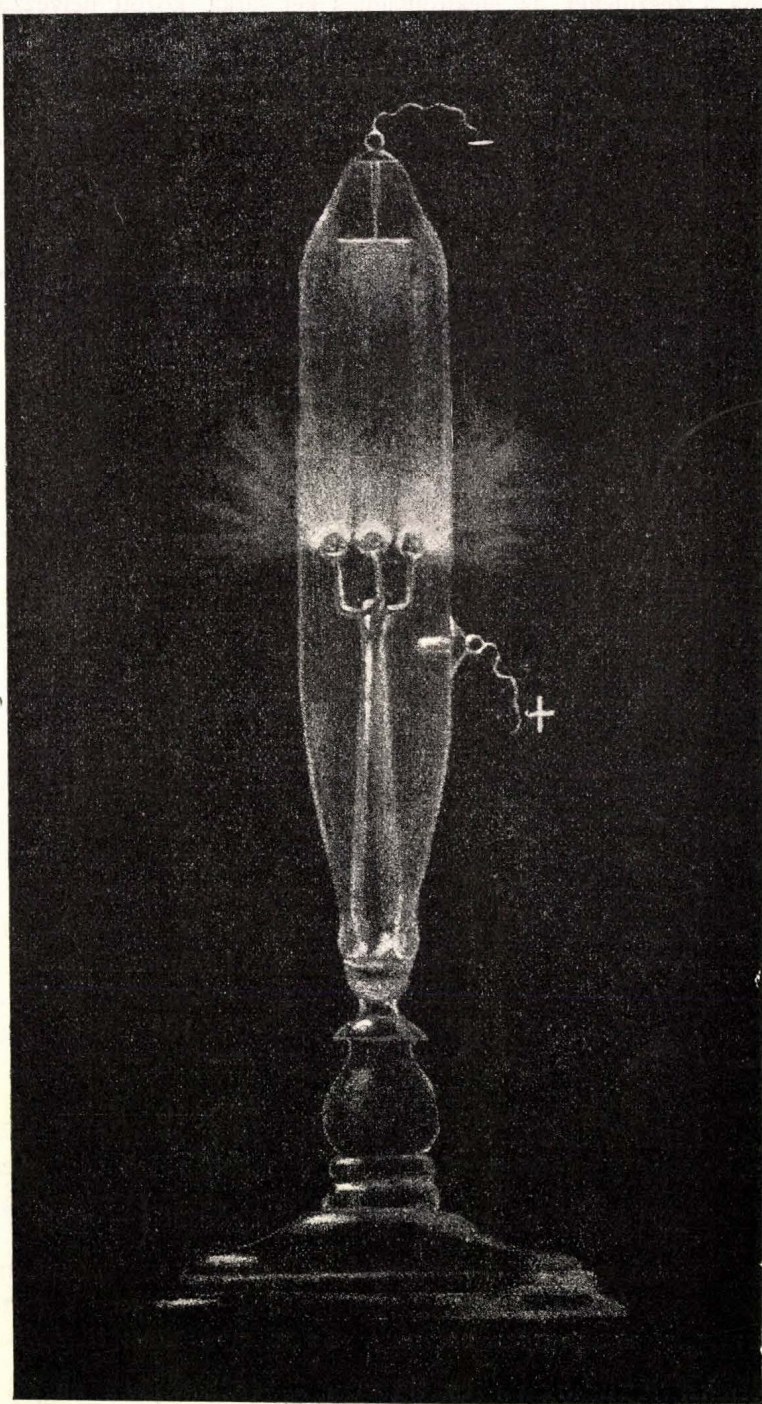
1. rajz.

körülményekből viszont következik, hogy a katódsugarak negatív elektromos töltést hordanak magukon. Ha e föltevések igazak, úgy a katódsugárnak elektromos térben útjából el kell térnie, és pedig a pozitív elektród felé elhajolni. Úgyisintén irányt kell változtatnia mágneses mezőben is.

Hogy a katódsugarak

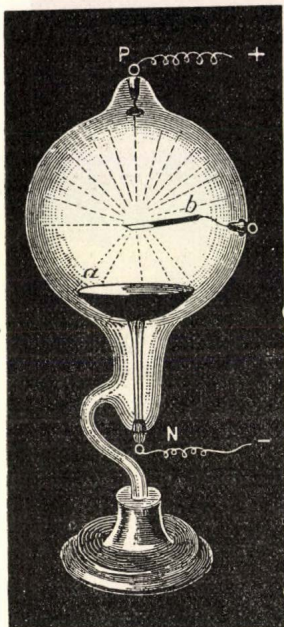
elektromos és mágneses térben újak irányát változtatják, először 1897-ben Thomson J. J. bizonyította be. A Thomson e célra az 5. rajzon feltüntetett kísérleti berendezést használt.

A katódról (a) kiinduló sugarak a b és c diafragmákon keresztül a d és e elektródok között haladnak el. A fémlamezből készült b és c diafragmák közepén kis lyuk van. E diafragmák a katódsugarak nagyobb részét visszatartják, belőlük csak kis csóvát bocsátanak át. A b diafragma egyúttal anódu is szolgál. A katódsugarak láthatatlanok, de az üveget ott, ahol reáütkeznek, gyöngye világításra indítják. Ha a d és e elektródok nincsenek bekapcsolva, úgy a diafragmán átjutó katódsugár kéve hatására az üvegen keletkező zöldesen fénylő pont a katóddal és a diafragmák nyílásával szemben f ponton tűnik föl. Ha az elektródokat bekapcsoljuk és a d elektród negatív, az e pedig pozitív töltést kap, akkor a katódsugárkéve a pozitív (e) elektród felé elhajlik és a zöldes fénypont most f_1 helyen jelentkezik. Hasonló jelenséget észle-



2. rajz.

lünk, ha a készüléket az elektromágnes két sarka között helyezzük el. E kísérlettel Thomson nemcsak azt bizonyította be, hogy a katódsugarak negatív elektromos töltéssel bíró részecskék, hanem, számításba véve az elektromos, illetve a mágneses tér intenzitását, valamint az eltérést, melyet a katódsugárkéve ezen hatásokra szenvedett, kiszámította egyrészt a katódsugarak sebességét, másrészt az $\frac{e}{m}$ viszony-



3. rajz.

számot, a hol e egy-egy részecske elektromos töltését, m pedig a tömegét jelenti. Thomson azt találta, hogy a katódsugarak sebessége a kísérleti körülmények változásával változik, amennyiben ez a csőben uralkodó nyomástól függ, az $\frac{e}{m}$ viszonyszám ellenben a körülményektől független és állandó. Thomson a katódsugarak sebességét a kísérleti körülmények változása szerint másodpercenként 10—100 ezer kilométernek (0.03—0.3 fénysebesség), az $\frac{e}{m}$ viszony-

$$7.7 \times 10^6\text{-nek}$$

találta. E viszonyszám még nem ad felvilágosítást egy-egy katódrészecske tömegéről, de ha egy gramm hidrogéngáznak elektromos bontással való szabadabbá tételére 9.6×10^4 coulombnyi elektromos mennyiség szükséges és ha egy hidrogén ion töltését e -vel és az 1 gramm hidrogéngázban lévő hidrogénatomok számát pedig N -nel

jelöljük, úgy $Ne = 9.6 \times 10^4$ coulomb. $= 9.6 \times 10^3$ elektromágneses egységgel. Ha m egy hidrogénatom tömegét jelenti, úgy $Nm = 1$, e két

értéket egymással törve, a hidrogén ionra $\frac{e}{m} = 9.6 \times 10^3$, elektromágneses

egység. Ha egy-egy katódrészecske töltését egy hidrogén ion töltésével egyenlőnek tételezzük föl, akkor, miután a fenti adat szerint $\left(\frac{e}{m} = 7.7 \times 10^6\right)$,

egy-egy katódrészecske tömege kerek számban 800-szor kisebb, mint a hidrogén egy atomjának tömege. Thomson kísérleteit megismételte Lénárd és eredményei hasonlóak. Némi módosítással megismételt

kísérletekkel Kaufmann és Simon $\frac{e}{m}$ értékét jóval nagyobbak,

$\frac{e}{m} = 1.865 \times 10^7$ -nek találták. Classen hasonló $\frac{e}{m} = 1.773 \times 10^7$ értékei egy-egy katódrészecske tömegét a hidrogén atom tömegénél kerek számban 1800-szor kisebbnek adják.

E kísérletekből kitűnik, hogy a *katódsugarak a katódról nagy sebességgel kilövellt negatív elektromos részecskékből állanak. E részecskéket Thomson korpuskulusoknak, Johnstone Stoney elektrónoknak nevezte.* Ez utóbbi elnevezés vált általánossá.

Az elektrón tehát negatív elektromos töltéssel bír, elektromos töltése egy hidrogén ion töltésével egyenlő, míg

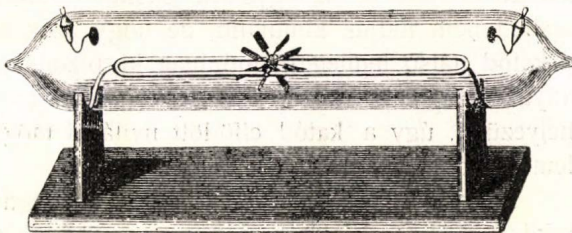
tömege a hidrogén atom tömegének ezred, illetőleg az utóbb említett, valószínűleg pontosabb adatok szerint, 1800-ad része.

Az elektrónok létezését más kísérleti tények is igazolják. Ez elektrónok létezésével magyarázzuk újabban a vegyérték elméletét, továbbá a lángok színeképek mágneses térben való megváltozását. E magyarázat szerint a színeképet az atomokon belül levő elektrónok rezgése okozza, amely a mágneses erő hatására megváltozik. Ugyancsak elektrónok föltételezésével magyarázzák újabban a fény és hőjelenségeket is.

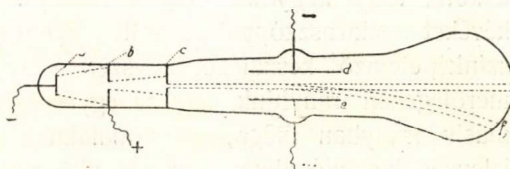
A katódsugarak az üveg falán nem juthatnak át, de Herz kimutatta, hogy azok néhány ezredmilliméter vastag fémlémezen áthatolnak.

Lénárd hazánkfia, jelenleg a heidelbergi egyetem tanára, olyan Crookes-féle csövet készített, melynek a katóddal szemben lévő falán, igen vékony alumíniumlemezről készült ablakot alkalmazott, amelyen a katódsugarak átjutottak s kimutatta, hogy e sugarakat a közönséges nyomású levegő már néhány milliméter vastag rétege, erős ionizálódás közben elnyeli. Kimutatta továbbá, hogy a különböző anyagok, a katódsugarakat sűrűségük arányában nyelik el.

A katódsugarakkal végzett kísérletek valószínűsítették, hogy amikor a katódról negatív töltésű részecskék indulnak ki, az anódról ellentétes töltésű részecskék szabadulnak el. Ezeket az anódról kiinduló sugarakat azonban csak jóval később sikerült Goldstein-nak oly módon föl-



4. rajz.



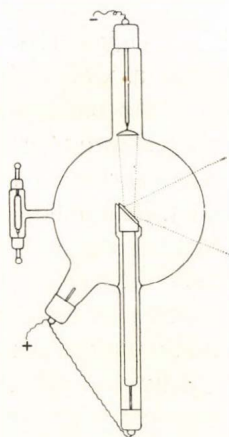
5. rajz.

fedeznie, hogy az anóddal szembe állított katódot több helyen átlukasztotta, amikor a katód mögötti térben, a katód nyílásai irányában gyengén világító, zöldes fénykévéket észlelhetünk, s ott, ahol e fénykévék az üveget érik, ennek gyenge világítását figyelhetjük meg. Goldstein e sugarakat csősugaraknak nevezte, újabban ezeket Goldstein-vagy röviden anódsugaraknak mondjuk. Az anódsugarak jelenlétét a katódelőtti térben, az ugyanott jelenlévő nagy intenzitású katódsugarak mellett nem tudjuk kimutatni, de hogy azok tényleg az anódról és nem a katód hátsó felületéről indulnak ki, bizonyítja, hogy ha az anód és az átlukasztott katód közé, a katód felületének egy részét elfödő fémlemezt helyezünk, úgy a katód elfödött nyílásai mögött, az anódsugarakra jellemző fénykévét nem figyelhetjük meg.

Miként a katódsugarak, elektromos és mágneses mezőben az anódsugarak is eltérülnek útből, még pedig a katódsugarakkal ellentétes irányban, miből következik, hogy ezek pozitív elektromos töltéssel bírnak. E kísérletekből kitűnt, hogy az anódsugarak sebessége jóval kisebb, mint a katódsugaraké. Sebességük másodpercenként körülbelül 1000 kilométer. Az $\frac{e}{m}$ viszonyszámot a sugaraknál, a katódsugarakkal ellentétben, a kísérleti körülmények változtatják, de 9.6×10^3 -nál nagyobbak sohasem találtak. E körülmény tehát amellet szól, hogy az anódsugár részecskéinek tömege akkora, vagy nagyobb, mint a hidrogén atom tömege. Az anódsugár kévéket spektroszkóppal vizsgálva gyenge színeképet észlelhetünk. Ha a színeképelemző készüléket egyszer e sugarakkal szembe majd azokra merőlegesen irányítjuk, úgy az egyik irányban végzett megfigyelésnél, a másik irányban megfigyelt vonalaknak némi eltolódását láthatjuk. E jelenség hasonló ahhoz, amelyet álló vagy egy nagy sebességgel felénk közeledő csillag színeképe vizsgálatánál figyelhetünk meg. Az anódsugárkéve színeképe nem egynemű és változik aszerint, amint a cső más és más gázzal volt töltve és aszerint, amint az anód más és más fémből készül. E körülmény tehát amellet szól, hogy az *anódsugár az anódról lehasadt fém és az anódot környező gáz molekuláiból áll, amelyek a kisüléskor pozitív elektromos töltést és nagy sebességet kapnak*. Az anódsugarak áthatoló képessége sokkal kisebb, mint a katódsugaraké, ezeket a csövön kívül hozni sehogysem sikerült.

A katód- és anódsugarakkal egyidejűleg a sugaraknak egy harmadik faja is keletkezik a Crookes-csövekben. E sugarakat fölfedezőjükről Röntgen-sugaraknak vagy x-sugaraknak nevezték. Valahányszor katódsugarak szilárd akadályba ütköznek, Röntgen-sugarak keletkeznek. A Röntgen-sugarak áthatolnak az üvegen, egyenes irányban terjednek és átjárják a legkülömbözőbb anyagokat és pedig annál könnyebben, minél kisebb azok sűrűsége. A Röntgen-

sugarakat nagy áthatoló képességük miatt az ismert Röntgen-fotografiák készítésére használjuk. A Röntgen-sugarak láthatatlanok, de különböző anyagokat gyenge világitásra indítanak. Az ilyen, a Röntgen-sugár hatására világitó testekkel bevont ernyőkön, a Röntgen-sugár átjárta test árnyékképe jelenik meg. A *Röntgen-sugarak irányukat sem elektromos, sem mágneses térben nem változtatják*. A Röntgen-sugarak minősége részben a katódsugarak sebességétől függ, amelyek hatására keletkeztek. Röntgen-sugár keletkezik, bármilyen alakú legyen is a Crookes-cső, legczélszerűbb azonban, ha a Röntgen-sugár előállítására szolgáló csőnek gömbalakot adunk s a Röntgen-sugarat nem az üveg falán, hanem a katóddal szembe helyezett platina tányéron az úgynevezett antikatódon állítjuk elő. Eczélből a katódot homorúan készítik és vele szemben a katód gyújtó távolán belül, de még olyan távolságban, hogy azt az összes katódsugarak érijék, a katód síkjával 45 fokú szög alatt helyezik el a fényesre csiszolt, platinalemezből készült antikatódot. Ezenkívül, mivel hosszabb használatkor az antikatód erősen fölmelegszik, azt hűtőszerezettel is ellátják. És végül, mivel úgy a katód, mint az anód, kisütésükkor a csőben lévő gázt adszorbeálják, s így a keletkezett Röntgen-sugarak minősége változik, a cső oldalára toldalékot forrasztottak, amelybe rendszeren valamilyen fémszivacsot vagy kókusz-szenet helyeznek, amely melegíthető. E toldalék célja, hogy a fémszivacs vagy kókusz-szén, melegítésre, a benne adszorbeált levegő egy részét szabadon bocsássa s így a csőben uralkodó eredeti nyomást időközönként mindig helyreállítsuk. Az ily módon összeállított és többnyire orvosi célokat szolgáló Crookes-féle csöveket (6. rajz) Röntgen-lámpának nevezik.



6. rajz.

Gáziók.

Úgy a Röntgen-, mint a katód- és anódsugaraknak tulajdonsága, hogy a levegőt és a gázokat elektromosan vezetővé teszik.

Az oldatok vezetőképességét, Arrhenius elmélete alapján úgy magyarázzuk, hogy az oldott anyag részben pozitív és negatív töltésű részecskékre, ionokra széthasadozik, amelyek az elektromos térben az ellentétes töltésű elektródok felé vándorolva, ott töltésüket leadják. Mennél nagyobb fokban disszociált valamely oldat, annál nagyobb a vezetőképessége. Az olyan oldatok, melyek alkotó részei nem disszociálódnak, az elektromosságot nem vezetik. Hogy valamely oldat az elektromosságot vezesse, annak előfeltétele tehát az, hogy az oldatban pozitív és negatív elektromos töltéssel szabadon mozgó részecskék legyenek. Ez alapon Rutherford E. és Thomson J. J. a gázok vezetőképességét is ionizálódásukkal magyarázzák és szerintük, ez esetben is az ionok vándorlása létesíti az elektromos áramot. A gázok és oldatok vezetőképessége között azonban lényeges különbségek vannak, mert, míg az oldatok vezetőképességét az oldaton kívül fekvő okok csak kismértékben befolyásolják és egy és ugyanazon oldat vezetőképessége állandó hőfokon állandó, addig a gázok vezetőképességét a Crookes-féle csövekben keletkező és az ahhoz hasonló sugarak váltják ki. Ha e sugarak hatása megszűnik, a vezetőképesség is megszűnik. E sugarak intenzitásának arányában növekszik a vezetőképesség is.

Ha két egymással szembeállított fémlemez között a levegőt Röntgen- vagy valamely más, ehhez hasonló viselkedő sugárral ionizáljuk s a két lemezt érzékeny árammérő közbeiktatásával elektromos telep két sarkával oly módon kötjük össze, hogy a bekapcsolt elemek számát, tehát a két kondenzátorlemez potenciálkülönbségét változtatjuk, úgy azt tapasztaljuk, hogy az ionizált levegőn áthaladó áram növekedése kis potenciálkülönbségeknél — miként ezt az oldatoknál észlelhetjük, az ohm törvényének megfelelően, — arányosan növekszik. Ez az arányosság azonban csak nagyon kis potenciálkülönbségeknél észlelhető, később az áramerősség növekedése mind kisebb lesz s végül a maximumot elérve, állandó marad, bármennyire növeljük is a potenciál-

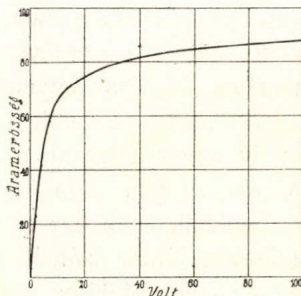
különbségeket. Ezt a maximális áramot, telítési áramnak nevezzük. A levegő vezetőképességének mérése, a rádióaktív anyagok mennyileges meghatározásánál játszik fontos szerepet. De meg kell jegyeznünk, hogy, míg az oldatok vezetőképességének meghatározásánál, tulajdonképpen azok ellentállását mérjük és azok vezetőképességét az ellentállás megfordított értékével $\left(\frac{1}{\text{ellentállás}}\right)$ fejezzük ki, addig a gázok vezetőképességének meghatározásánál, az azokon áthaladó áram, és pedig a telítési áram intenzitását mérjük.

Az áramerősségnek a potenciálkülönbségek változásától való függését Thomson J. J. alábbi táblázatban felsorolt adatai mutatják:

I. táblázat.

Volt	Áramerősség	Volt	Áramerősség
0.125	18	4	79
0.25	36	8	85
0.5	55	16	88
1	67	100	94
2	72	335	100

E kísérletsorozatban a levegőt, a két vízszintesen egymással szembe állított lemez közül az alsóra egyenletesen elterített urániumoxid sugárzása ionizálta. A táblázat első rovatában a két lemez között uralkodó potenciálkülönbség, a második rovatban, könnyebb áttekinthetőség céljából 100-zal jelzett maximális áramra vonatkoztatott, megfelelő áramerősség adatai foglalnak helyet. A táblázatból látható, hogy az első két adatnál az arányosság még teljes, amennyiben az áramerősség, a potenciálkülönbségnek 0.125-ről 0.25 voltra emelkedésével, 18-ról 36%-ra növekszik; ezentúl a növekedés, a potenciálkülönbségek emelkedéséhez arányítva, mind kisebb lesz s végül, amikor a potenciálkülönbség 100-ról 335 voltra emelkedik, az áramerősség már csak 6%-al növekedik.

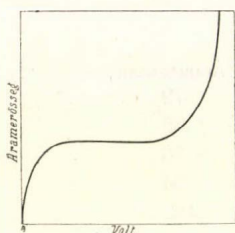


7. rajz.

A potenciálkülönbségek és az áramerősség közötti függést az adatok alapján szerkesztett 7. rajz tünteti föl. E szabályszerűséget azonban csak az esetben tapasztaljuk, ha a sugarak, a kondenzátorok közti térben egyenletesen oszlanak el, továbbá, ha a kondenzátorok között a levegő vagy a gázok nyomása normális, vagy legalább is nem túl kicsiny.

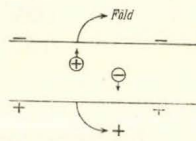
Townsend J. J. 1 mm higanyoszlopnak megfelelő nyomású gázokkal végzett kísérletei szerint, ily körülmények között az áramerősség növekedése, a potenciálkülönbség növekedésével, kis potenciál-

külömbiségeknél, a normális nyomású gázoknál tapasztaltakhoz hasonlóan növekedik. Látzólólag itt is elérjük a telítési áramot, de csak rövid időre, mert ha a potenciálkülömbiséget bizonyos határon fölül emeljük, az áramerősség ismét növekedni kezd. E növekedés kezdetben lassú, majd minderősebbé lesz és végül, a Geisler-féle csövekben uralkodó potenciálkülömbiségeknél rohamossá válik. Townsend megfigyeléseit grafikusan a 8. rajz tünteti föl.



8. rajz.

E jelenségeket Rutherford és Thomson elmélete, a következőképpen magyarázza: A sugárzás hatására, a gázmolekulák egy része pozitív és negatív ionokra hasad szét. A gázok adott mennyiségében lévő ionok száma arányos a sugárzás intenzitásával. A sugárzás hatására, az idő egysége alatt, a sugárzás intenzitásának megfelelőleg bizonyos számú pozitív és negatív ion keletkezik. Ezek egy része egymással találkozáva, ismét elektromosan semleges molekulákká egyesül. A sugárzás megszűnésével az ionok rövid idő alatt mind egyesülnek. Állandó sugárzás esetén eleinte igen rövid ideig szapo-



9. rajz.

rodik az ionok száma, majd, amikor már, az időegysége alatt ismét egyesült ionok száma, egyenlővé válik az ugyanazon idő alatt keletkezett ionok számával, beáll az egyensúlyi állapot; amikor, ha a sugárzás intenzitása állandó marad, az ionok száma is állandósul. Az elektromos térben keletkező pozitív ionok a katód, a negatívek az anód felé vándorolnak (9. rajz). Alacsony potenciálra töltött elektródok gyöngye elektromos mezejében az ionoknak csak egy része vándorol azokhoz. Ha ezek száma elenyésző az összes ionok számához képest s az elektródok potenciálját emeljük, úgy az elektródokhoz vándorló ionok száma arányos lesz a potenciál emelkedésével, de mihelyt az elektródokhoz vándorló ionok száma az összes ionok számát észrevehetően csökkenti, ez az arányosság megszűnik, és végül, ha az elektródok potenciálja elég nagy, az összes ionok azokhoz vándorolnak; ilyenkor elértük a telítési áramot, vagyis, ha a potenciálkülömbiséget tovább emeljük is, az áram már nem emelkedhetik. Légritkított térben e jelenségek kezdetben hasonlóak, csak-hogy a gáz térfogategységében kisebb molekulák számának megfelelően, a sugárzás hatására keletkezett ionok száma is kisebb lesz, tehát a telítési áramot is hamarabb elérjük. Ilyen esetben a potenciál emelésével az áram erőssége egyideig állandó marad, de azután, mint tudjuk, ismét emelkedni kezd. Ez bekövetkezik, amikor az ellentétes elektródok vonzó, illetve taszító hatása már oly nagy, hogy az ionok a normálisnál nagyobb sebességet kapnak és katód-, illetve anódsugarakká

alakulnak; ilyenkor már maguk is ionizálják a gázokat s így az újabb ionok keletkezése következtében a gáz nagyobb vezetőképességet nyer.

Ugyanez alapon magyarázhatók a Crookes-féle csövekben észlelhető jelenségek is. Számtalan kísérlet tanúsága szerint, a levegőben, végtelen kis kismennyiségben bár, de mindig találunk rádióaktív anyagokat. Ezek sugarai a levegőt kismértékben ionizálják és ennek, kismértékű vezetőképességet adnak. A Crookes-féle csövekben is, bár végtelen kis számban mindig vannak szabad ionok, amelyek, amint a katódnak, illetve anódnak kellő feszültséget adunk, kezdeti katód, illetve anód-sugarakká alakulnak, amelyek azután a csőben lévő gázokat ionizálják s a további kisülést létesítik.

Wilson C. T. R. a köd keletkezésére irányuló kísérleteivel bizonyította be, hogy a gázok vezetőképességét tényleg a pozitív és negatív elektromos töltéssel bíró önálló részecskék okozzák. Ha elzárt s légszivattyúval összekötött búrában vizet párologtatunk el és telítés után a búra levegőjét hirtelen ritkítjuk, úgy a hirtelen kiterjedés következtében a levegő lehül s a vízgőz egy része lecsapódik, illetve a búrában sűrű köd keletkezik. Wilson kísérletei szerint a köd keletkezését, a levegőben úszkáló porszemcsék nagyban elősegítik, mert ha e művelet után, a ködszemcsék leülepedésével, a levegőben lévő porszemcséket lerántatjuk és e műveletet egyszer kétszer megismétljük s ily módon a port a levegőből eltávolítjuk, azt tapasztaljuk, hogy most már a köd sokkal nehezebben keletkezik és sokkal ritkább lesz. Wilson kimutatta, hogy pormentes és vízgőzzel telített levegőt, egy bizonyos fokig lecsapódás nélkül lehűthetünk, tehát vízgőzzel túltelíthetünk.

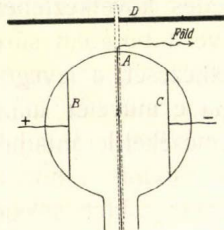
Ha V_1 -el a búraba zárt levegő eredeti térfogatát; V_2 -vel pedig a ritkított levegő térfogatát jelöljük, úgy Wilson kísérletei szerint, pormentes levegőben addig ködképződést nem észlelünk, amíg $\frac{V_2}{V_1} < 1.25$. Ha > 1.25 de < 1.38 -nál, úgy csak nagyon gyenge ködkeletkezés észlelhető. Erősebb ködkeletkezés csak akkor indul meg, ha $\frac{V_2}{V_1} > 1.38$ -nál.

Ha a búrát Röntgen-sugár hatásának teszszük ki, úgy már erős ködkeletkezést észlelünk akkor, amikor $\frac{V_2}{V_1} = 1.25$. Ez a köd annál sűrűbb, minél intenzívebb a Röntgen-sugarak hatása és ez a hatás igen éles, mert a köd rögtön eltűnik amint $\frac{V_2}{V_1} < 1.25$ -nél és keletkezik, amint $\frac{V_2}{V_1}$ nagyobb lesz e számnál.

Hogy a jelen esetben a ködkeletkezését tényleg a pozitív és negatív ionok okozzák, hogy a víz az ionokra csapódik le, bizonyítja, hogy ha

a búrába két fémlemezt helyezünk, amelyeket kellő potenciálra töltünk, úgy ennél a ritkításnál köd nem keletkezik, mert az ionok az elektrodokhoz vándorolnak, mielőtt még azokra víz csapódhatnék rájuk.

Wilson másik kísérletével bebizonyította, hogy a negatív ionok hatására könnyebben keletkezik köd, mint a pozitívékére. Wilson e kérdést oly módon döntötte el, hogy vízpárával telített levegővel telt és légszivattyúval összekötött tekét (10. rajz) a földdel összekötött fémlemez, (A) két egyenlő részre osztott. A teke mindkét felébe, a középső fémlemezzel párhuzamosan egy-egy (B C) fémlemezt helyezett el, amelyek egyikét az elektromos áramforrás pozitív, a másikat a negatív sarkával kötött össze. A teke fölött vastagabb ólomlemez (D) és egy Röntgenlámptól oly módon helyezett el, hogy az ólomlemez nyílásán át a sugárkéve a teke két fele között egyenletesen oszlott el. A rajzon a pontozott vonalak jelzik a Röntgen-sugár útját. Ilyen berendezés mellett a teke egyik felében csak pozitív, a másikban csak negatív ionok voltak és a teke azon felében, amelyben a negatív ionok voltak



10. rajz.

a ködképződés már $\frac{V_2}{V_1} = 1.25$ -nél megindult, míg

ellenben a teke másik felében csak $\frac{V_2}{V_1} = 1.31$ -nél

kezdődött. E kísérlet egyúttal okát adná annak is, hogy a felhők a földdel szemben pozitív töltéssel bírnak. Eszerint az először keletkezett esőcseppek a negatív ionokat magukkal ragadva a felhőben

főleg pozitív töltést hagynak hátra. Ugyane kísérlettel azt is kimutatta Wilson, hogy az ily módon képződött pozitív és negatív ionok száma

egyenlő, mert ha a tekében $\frac{V_2}{V_1} = 1.31$ -nél nagyobb ritkítást létesített, úgy

hogy a pozitív és negatív ionok egyszerre keletkeztek, úgy a teke mind a két felében a köd egyenlő sűrű volt. Végül azt is megállapította, hogy a teke mindkét felében képződött vízcseppecskék esési sebessége körülbelül egyenlő, tehát azok súlya is egyenlő.

Thomson J. J. megkísérelte az egyes ion elektromos töltésének kiszámítását. Eczélből elsősorban is a vízcseppek esési sebességét figyelte meg, és mivel Stokes szerint a szabadon esőcsepp sebessége (v) függ a csepp anyagának sűrűségétől (s), a csepp sugarától (r) a nehézségi erőtől (g) és a surlódási együtthatótól (μ) a

$$v = \frac{2sg r^2}{g\mu}$$

képlet segítségével, a kísérletileg meghatározott esési sebességgel és az s , g és μ adatok ismeretében, megállapította a cseppek sugarát, illetve azok súlyát; ezután megállapítván az összes lecsapódott víz súlyát; ezt az

előbbivel elosztva megkapta a vízcseppek, illetve föltételezván azt, hogy minden csepp egy-egy iónt zár magában, a képződött iónok számát. Végül, a hulló vízcseppecskék között a készülékben elhelyezett két kondenzátor lemezen át gyenge elektromos áramot bocsátott, amelynek intenzitását megmérte és ebből Rutherford és Thomson elmélete alapján

$$i = \frac{N \cdot V \cdot e}{l} (k_1 + k_2)$$

képlet segítségével, kiszámította egy ión töltését. A fenti képletben i az áram intenzitását jelenti, amelyet Thomson meghatározott, N az iónok számát, amely a lehullott vízcseppek számával egyenlő, V a kondenzátor lemezek között uralkodó és meghatározott potenciálkülönbséget, l a kondenzátor lemezek távolságát, k_1 és k_2 a pozitív, illetve negatív iónoknak elektromos térben észlelt mozgási sebességét, melyet Zeleny és Langevin határoztak meg és végül e az ión elektromos töltését jelenti. Miután a fenti képletben egyedül ez utolsó érték ismeretlen, az kiszámítható. Thomson kísérlete szerint, egy ión elektromos töltése $e = 3 \times 10^{-10}$ elektrosztatikus egység. Wilson, megismételve Thomson kísérletét, e értékét 3.1 elektrosztatikai egységűnek találta.

E mennyiség tehát, egyetlen egy elektronnak elektromos töltését jelenti. Mások más utakon végzett megállapodásai valamivel nagyobb értéket adtak. Így Rutherford és Geiger e értékét rádióaktív sugarakkal végzett kísérletekből, melyekről később részletesebben szólunk, 4.65×10^{-10} , Milikan ionizált térben eső olajcseppekkel végzett kísérletek alapján 4.77×10^{-10} , Perrin kolloidokból végzett kísérleteiből 4.1×10^{-10} elektrosztatikai egységűnek találta.

Ez utóbbi kísérletek alapján, egy ióntöltésének nagysága, elektrosztatikai egységekben

$$e = 4.7 \times 10^{-10}$$

Ez tehát egy elektron s így egy hidrogén ión, illetve bármely egyvegyértékű ión elektromos töltése s egyúttal a legkisebb elektromos mennyiség.

Az elmondottak alapján Rutherford és Thomson elméletét a következőkben foglalhatjuk össze: Az elektromos áram haladását a gázokon át, az oldatokhoz hasonlóan iónok közvetítik. Az elektrolites iónok és gázió nok között azonban lényeges a különbség. Az elektrolites iónok, atom vagy atomcsoportokból állanak. Az elektrolites iónok között legkisebb tömegű a hidrogén ión. Az elektrolites ión tömege tehát legalább is akkora, mint egy atom tömege. A sósav molekulája például egy pozitív hidrogén és egy negatív klór iónra hasad. A konyhasó nátrium és klór iónra, a salétrom nátrium és nitrát iónra hasad szét. Ezzel szemben a gázok disszociálásánál a gázmolekulák tömege, mint azt a katód- és anód-

sugarak részecskéinek tömege közti különbség is mutatja, sokkal egyenlőtlenebbül oszlik meg. Ilyenkor az ionizáló hatásra, az elektromosan semleges molekulából egy elektron hasad le és az adja a negatív iónt, míg a megmaradt molekula egy elektron elvesztése következtében, pozitív iónná alakul. A negatív ión tömege tehát, a hidrogén iónnak körülbelül $\frac{1}{1800}$ részével, míg a pozitív iónnak tömege, lényegileg a molekula eredeti tömegével egyenlő. Ez, függetlenül attól, hogy az ionizált gáz molekulája egyszerű vagy összetett, mindig ily módon történik. A gáziónek azonban ez egyszerű alakjukat csak légritkított térben tarthatják meg. Townsend és mások meghatározták a gáziónek diffúziósebességét a közönséges nyomású gázokban és azt tapasztalták, hogy az iónoknak és pedig úgy a pozitív, mint a negatív iónok sebessége jóval kisebb, mint az elektromosan semleges molekulák diffúziójának sebessége. Ez a tapasztalati tény tehát azt mutatja, hogy a normális nyomású gázokban az iónok tömege jóval nagyobb, mint az elektromosan semleges molekulák tömege. E jelenséget Rutherford és Thomson úgy magyarázzák, hogy az elektromos töltéssel bíró iónok az elektromosan semleges molekulákat magukhoz vonzzák, magukra halmozzák. Számításaik szerint, normális nyomású gázban egy-egy ión húsz-harmincz molekulát halmoz magára. Hogy az iónoknak ilyen vonzó képességük van, mutatja a vízgőz lecsapódása. Kisebb nyomású gázokban az iónokra halmozódott molekulák száma kisebb, és amikor a gázok ritkítása akkora mint a Crookes-féle csövekben, az iónok már szabadon mozoghatnak.

α -, β - és γ -sugarak.

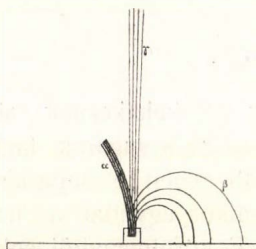
A Röntgen-sugarak, mint már említettük, ott keletkeznek, ahol a katódsugarak szilárd testekbe ütődnek. A Röntgen-sugarak tanulmányozására kezdetben használt Crookes csövekben e sugarak a katóddal szemben, az üveg falán keletkeztek, amikor egyúttal az üveg e helyén gyöngye, *zöldes* világítás is észlelhető. E körülményből sokan azt következtették, hogy e két jelenség egymással szoros összefüggésben van, illetve, hogy e két jelenség mindig együtt jár. E körülmény terelte a figyelmet a sötétben világító vegyületek felé. Nem sokkal a Röntgen-sugarak fölfedezése után Niewenglowski, Troost, Arnold, Le Bon és mások közleményeikben azt vitatták, hogy a különböző világító vegyületek, a Röntgen-sugarakhoz hasonló sugarakat lövellnek ki. Becquerel eleinte maga is hasonló véleményen volt, de 1896-ban megjelent dolgozatában kimutatta, hogy az eddig ismert világító vegyületek közül, egyedül az uránium-vegyületek lövellnek ki, a Crookes csövekben keletkező sugarakhoz hasonló sugarakat és hogy a többi világító vegyületek sugara is áthaladnak ugyan igen vékony fekete papíron, de ezt a keletkező ultraibolyasugaraknak kell tulajdonítanunk.

Későbbi dolgozatában kimutatta, hogy nemcsak a világító, hanem az összes uránium-vegyületek lövellnek ilyen sugarakat és hogy a sugárzás erőssége függ a különböző vegyületek uránium tartalmától. E sugaraknak is megvan az a tehetsége, hogy világításra indítsanak egyes anyagokat, a fényérzékeny lemezeket elbontsák, a levegőt ionizálják, és végül elektromos és mágneses térben egyrészük szintén megváltoztatja útja irányát. Becquerel e jelenséget *radioaktivitásnak* és azokat, amelyek spontán, minden külső hatástól menten, ilyen sugarakat lövellnek ki, *radioaktív*-anyagoknak nevezte el.

Miként a Crookes-féle csövekben keletkezők, úgy a radioaktív-sugarak között is háromféle sugárfajtát különböztetünk meg.

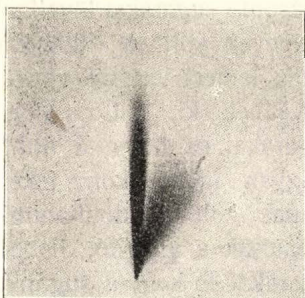
Ha egy vastagabb ólomtömbbe fúrt keskeny nyílás fenekére kevés rádiumot helyezünk el, úgy a nyíláson át abból csak keskeny sugárkéve juthat ki. Ha e tömböt elektromágneses patkó két sarka közé helyezzük, úgy az eredetileg egyirányú, egyenes sugárkéve három részre

válk szét (11. rajz); egyik része megtartja eredeti irányát, egy második kéve csak kevésbé hajlik el, míg a harmadik rész az előbbtől ellentétes irányú erős elhajlást szenved. E három sugárfaj közül a kevésbbé elhajló sugárt α -sugárnak, az erősebb változást szenvedőt β -sugárnak, míg a harmadikat, amely eredeti irányát megtartotta, γ -sugárnak nevezzük. Meg kell jegyeznünk, hogy a 11. rajz csak eszményi képet mutat. E sugarak ugyanis láthatatlanok. Fényérzékeny lemezen ugyan megtudjuk

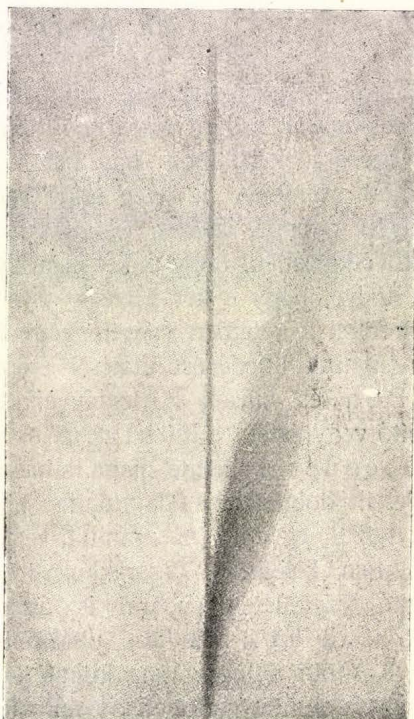


11. rajz.

rögzíteni útjokat, de mivel egyrészt oly erősségű mágneses térben, amelyben a β -sugarak



12. kép.



13. kép.

már nagyon erős elhajlást szenvednek, az α -sugarak elhajlása még alig észrevehető, másrészt a különböző sugarak hatása a fotografus lemezen különböző, ezért e sugárcsoportok viselkedését külön-külön vizsgáljuk.

A 12.¹ kép a fényérzékeny lemezen készített kép másolata. Az eredeti kép oly módon készült, hogy teljesen elsötített helyiségben, gyöngébb elektromágnes két sarka között, alól elzárt, vastagfalú, szűk nyílású ólomcsövet s e mellé, kissé a cső nyílása felé hajlítva, hogy a csőből kilépő sugarak érijék, fényérzékeny lemezt helyeztek. Az ólomcső fenekén pedig régibb, α -, β - és γ -sugarakat kilövellő rádiumkészítmény volt.

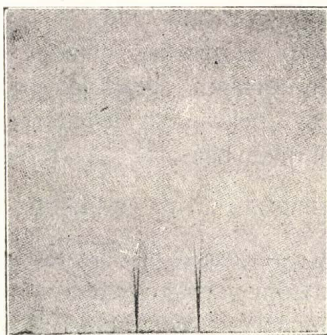
¹ A 14., 15. és 16. rajz. Curie: Die Radioaktivität című műből vettük át.

A képen egyenes irányú, sötétebb és keskenyebb, mellette pedig ferdeirányú világosabb, kissé szétterülő sávot látunk. Az előbbi, a gyöngé mágneses térben útjából észrevehetően el nem térített α - és el nem hajlított γ -sugarak, az utóbbi, a gyöngén elhajlított β -sugarak útját mutatja.

A 13. kép ugyanúgy készült, mint az előbbi, azzal a különbséggel, hogy a csőbe csak β - és γ -sugarakat lövellő készítményt helyeztek el, itt az egyenes vonal a γ -sugarak útját mutatja, ezért ez sokkal keskenyebb szélű, mint az előbbi képen.

Hasonló módon készült a 14. kép eredetije, csak hogy ennek fényérzékeny lemeze elé két olyan csövet helyeztek, amelyek aljára kizárólag α -sugarakat lövellő készítményt tettek, az egészet az előbbieknél jóval nagyobb mágneses erők hatásának tették ki és az elektromágnes vezetékeibe átkapcsoló szerkezetet iktattak, amelynek segítségével, az áram irányának változtatására, néhány perces időközökben a mágnessarkokat fölcserélték. A képen látható, egymástól V-alakban elhajló csíkok tehát, az α -sugaraknak a mágneses erők hatására váltakozó útját mutatják.

A fentemlített három sugárfajta között legérdekesebbek az α -sugarak. Az α -sugaraknak az elektromos és mágneses térben való viselkedése azt mutatja, hogy azok anyagi részecskékből állanak, amelyek pozitív elektromos töltést hordanak magukon. Az α -sugarak tehát hasonlatosak a



14. kép.

Crookes-csövekben keletkező anódsugarakhoz, de amíg a csősugaraknál a körülmények változása szerint, úgy a sebesség, mint a tömeg változó, addig, a különböző rádióaktív anyagok kilövellte α -sugarainak sebessége változó ugyan, a tömegük azonban mindig állandó.

A különböző rádióaktív anyagok α -sugarainak elektromos és mágneses térben való viselkedését többen, igen behatóan tanulmányozták s azokból megállapították azok sebességét, továbbá az $\frac{e}{m}$ viszonyszámot. E vizsgálatok szerint: egy és ugyanazon rádióaktív anyag kilövellte α -sugarak kezdősebessége állandó és független attól, hogy az illető rádióaktív elem milyen vegyületét vizsgáljuk, de független egyéb külső körülményektől is. A különböző rádióaktív anyagok kilövellte α -sugarak kezdősebessége különböző és ez 0.075 és 0.05 fénysebesség között változik. Levegőn vagy más testen áthaladó α -sugár sebessége, az ütdés következtében fokozatosan csökken.

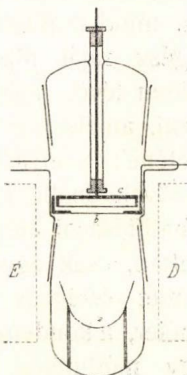
Az $\frac{e}{m}$ viszonyszám, a különböző rádióaktív anyagok kilövellte α -sugaraknál egyenlő és elektromágneses egységben kifejezve, kerekszámban 5×10^3 -nak felel meg. Ez adatból, ha föltételezzük, hogy egy α -részecske egy ióntöltést hord magával, az α -részecske tömegét két hidrogén atom tömegével kapjuk egyenlőnek és ez független attól, hogy az α -részecskét milyen rádióaktív anyag lövellte ki, és hogy a sugárzás milyen környezetben történik. Ez a körülmény tehát azt mutatja, hogy az α -sugarakat alkotó anyagi részecskék kizárólag magából a sugárzó anyagból erednek és hogy azok minősége független az α -részecskéket kilövellő rádióaktív test anyagától és annak környezetéből, tehát ezek más módon keletkeznek, mint az anód-sugarak, amelyek részint az anódról lehasadt részecskékből, részint az anódot környező gázmolekulákból állanak, amiket nagy sebességgel taszít el magától az anód.

Azon tény, hogy a legkülömbözőbb rádióaktív anyagok α -sugarait alkotó részecskék tömege mindig egyenlő és kisebb, mint a rádióaktív anyagot alkotó atomok bármelyikének tömege, már magában is igen érdekes, de jelentőségét növeli, hogy e körülmény pontosabb tanulmányozásától, a rádióaktív folyamatokról fontos felvilágosítást várhatunk. Mint említettük, az $\frac{e}{m}$ viszonyszámból, ha föltételezzük, hogy egy α -részecske egy ión-töltést hord magával, úgy annak tömege két hidrogénatom, vagyis egy hidrogén-molekula tömegével egyenlő. De már régebben ismeretes volt, hogy a rádióaktív ásványokban majdnem mindig található hélium. Ebből, valamint abból, hogy a héliumatom tömege kerekszámban kétszer akkora, mint a hidrogén-molekula tömege, azt következtették, hogy az α -részecskék hélium-atomokból állanak. De ez csak az esetben lehetséges, ha egy α -részecske nem egy, hanem két ióntöltést visz magával. E kérdést eldöntendő, módot kellett találni arra, hogy egy-egy α -részecske elektromos töltése megállapítható legyen.

Kísérleti alapon először Rutherford és Geiger döntötték el e kérdést oly módon, hogy egyrészt megállapították valamely rádióaktív anyag ismert mennyiségének, az idő egysége alatt kilövellt α -sugaraival továbbított elektromos-töltés összes mennyiségét, másrészt megállapították, hogy az anyag azonos mennyisége, ugyanannyi idő alatt, hány α -részecskét lövell ki. Az előbbi adat az utóbbival törve, adja egy α -részecske töltését.

A feladat első felét megoldandó, Rutherford és Geiger, az α -sugárzó anyagot (rádium C), a sugárzás egyenletes eloszlása céljából, fémcsésze belső falára, elektromos úton csapták le, miáltal végtelen vékony, egyenletes sugárzó réteget állítottak elő. A csészére lecsapott rádióaktív anyag γ -sugárzását, ismert mennyiségű rádium γ -sugárzásával

hasonlították össze s így megállapították annak mennyiségét¹. E kicsiny csészét, körülbelül négy centiméter átmérőjű, alul zárt üvegcső alsó részébe helyezték. (15. rajz [a]). E csőre ráköszörült második csőben, a csészével szemben igen vékony alumíniumlemez (b) volt elhelyezve, amely elektromos telep egyik sarkához volt kapcsolva, amelynek másik sarka a földdel volt összekötve. A (b) alumíniumlemezzel szemben elhelyezett (c) fémdobot elektrométerrel kötötték össze. A csőben lévő levegőt lehetőségig ritkították és az egész készüléket elektromágnes két sarka (E, D) közé elhelyezték. E berendezéssel a (a) csésze falairól kiinduló β -sugarakat oldalt térítették. Eredeti irányukban csak az elektromos töltéssel nem bíró γ - és a nehezen eltéríthető α -sugarak folytathatták útjukat. Az α -sugarak, a csésze felületéről kiindulva, (b) vékony alumíniumlemezen áthaladva (c) fémdobba ütődnek, ahol fönnakadva, elektromos töltésüket leadják, amit az elektrométer jelez. Számításba kellett azonban venniük, hogy teljesen légmentes teret előállítani nem lehet és a sugarak a csőben visszamaradt levegőt ionizálják, ami a mérést hibássá teszi, de e hiba kiküszöbölhető, ha közben a (b) lemezt fölváltva, egyszer az elektromos telep pozitív, majd annak negatív sarkával kötik össze; mert ha a lemez az elektromos telep pozitív sarkával volt összekötve, az α -sugarakkal a dobra került pozitív töltés, az ionizált levegőn át a nagyobb feszültségű lemeztől, a kisebb feszültségű dob felé irányuló árammal továbbított villamossággal megszorodik, ha a lemezt a telep negatív sarkával kötik össze, úgy az ellentétes irányban haladó áram miatt megfog. Azonban úgy a fogyást, mint a szaporodást meg lehet határozni. Ugyanis, ha n jelenti az idő egysége alatt a dobra kerülő α részecskék számát, e egy részecskének töltését, úgy ne az idő egysége alatt, az α -sugarakkal a dobra kerülő összes töltés. Továbbá, hogy ha i_0 jelzi azt az áramot, amely a lemez pozitív töltése mellett a dob felé, illetve a lemez negatív töltése mellett a dobról a lemez felé irányul és i_1 az elektrométeren az előbbi esetben és i_2 az utóbbi esetben mért áramot úgy



15. ábra.

$$i_1 = ne + i_0$$

és

$$i_2 = ne - i_0$$

a két egyenletet összeadva

$$i_1 + i_2 = 2ne.$$

¹ A rádium γ -sugárzása alatt a rádiummal egyensúlyban lévő rádium C γ -sugárzását értjük. (Lásd a rádiumról szóló fejezetet.)

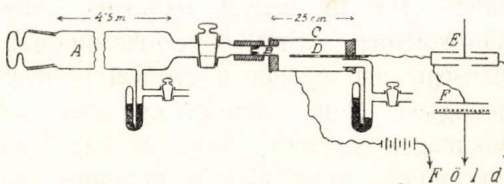
Ha tehát a leirt készülékkel összekötött elektrométerrel az áramot oly módon mérjük, hogy a (b) lemezt váltakozva, az elektromos telep pozitív és negatív sarkával kötjük össze, úgy módunkban van a dobra kerülő α -sugarak továbbította elektromosság összes mennyiségét meghatározni. Ily módon Rutherford és Geiger, annak számításba vételével, hogy ily kísérleti berendezés mellett, a csészén elterített sugárzó anyag kilövelte α -sugarak hányadrésze jutott a dobozra, kiszámították, hogy a sugárzó anyag adott mennyiségének, az idő egysége alatt kilövellt α -sugarai, mily elektromos mennyiséget továbbítanak. Rutherford és Geiger kísérletei szerint, egy gramm rádium által kilövellt α -sugarak, másodpercenként, összesen 31·6 elektrosztatikus egységnyi elektromos mennyiséget továbbítanak.¹

Az α -részecskék megszámlálását, Rutherford és Geiger, a következő elvre alapították: Még az aránylag gyöngén sugárzó anyagok is, minden pillanatban és pedig a tér minden irányába, az α -részecskék egész raját röpítik ki magukból. Ennélfogva, a sugárzó anyag közeliében lévő, még aránylag kis felületet is, az α -részecskék halmaza fog érni, amelyek száma, a felületnek sugárzó anyagtól való távolsága négyzetének arányában fogy. Ha az α -sugarak tényleg nagy sebességgel kilövellt önálló részecskék, úgy a kis felületnek, a sugárzó felülettől való távolításával elérhetjük, hogy a felfogó felületet időközönként, megszákítottan, csak egy-egy α -részecske érje, és ha ez kondenzátorral s ez ismét érzékeny elektrométerrel van összeköttetésben, úgy az elektrométer, a kondenzátorba jutott minden egyes α -részecskét jelezni fogja s így módunkban áll meghatározni, illetve kiszámítani, hogy valamely α -sugárzó rádióaktív anyag adott mennyisége, meghatározott időben, hány α -részecskét lövell ki magából.

Magát a kísérletet következőképpen hajtották végre: A sugárzó anyagot, az előbb leirt kísérletnél elmondott módon, elektrolizissal választották le és ugyanúgy határozták meg a mennyiségét, a sugárzó réteget azonban nem egy csésze belső oldalára, hanem egy vashenger alapfalára csapták le. Ezt 4—5 méter hosszú, egyik végén dugóval, másik végén szélesebb nyílású csappal elzárt üvegcsőbe (16. rajz A), oly módon helyezték el, hogy a vashengernek, a rádióaktív réteggel bevont alapja a csap felé nézzen. A csapos csövet, kaucsuk cső segítségével, másik üvegcsővel (B) kötötték össze, amelynek a csapocső felé

¹ Rutherford és Geiger kísérletüket rádium C-vel végezték, de a rádium C, az idő egysége alatt ugyanannyi α -részecskét lövell ki, mint a rádiumnak vele egyensúlyban lévő mennyisége. Ennélfogva a rádium C-vel nyert adatokból, a vele egyensúlyban lévő rádium kilövellt α -részecskék száma is, kiszámítható. A fenti adat a bomlási termékeitől mentes rádiumra vonatkozik. (Lásd a rádiumról szóló fejezetet.)

néző végét igen vékony csillámlemezzel elzárták, a másik fele, ebonit dugóval elzárt, (C) 25 cm hosszú fémhengerben végződött. A (C) fémhenger másik vége szintén ebonit dugóval volt elzárva, amelybe az ebonit dugón át, tehát a (C) hengertől elszigetelten, (D) fémrúd nyult be. A (D) fémrúd egy elektrométerrel (E), a (C) henger pedig nagyfeszültségű elektromos telep egyik sarkával volt összekötve. A levegőt, nehogy az α -részecskék útját állja, (A) csőben lehetőségig ritkították. Az (A)-csőben levő vashengerről kiinduló α -részecskék egy része a (B)-cső végén elhelyezett csillámlemezre, illetve azon át, a (C)-fémhengerbe jutott. A sugárzó réteggel bevont vashengert, mágnesrúd segítségével, annyira távolították a csillámlemeztől, hogy azt, percenként csak kevés α -részecske érte. Hogy az egyetlen α -részecske hatására keletkezett ionok okozta vezetőképesség, az elektrométeren észrevehető legyen, a (C)-henger levegőjét is erősen megritkították és a henger töltését 1200 voltra emelték. Ily körülmények között, mint azt a gázionokról szóló fejezetben már említettük, a ritkított levegőben keletkező kisszámú ionok sebességet nyerve, újabb ionokat termelnek, amelyek már az elektrométer erősebb kilengéséhez elegendő nagyságú áram haladhat át. Hogy az elektrométer minden kilengés után, önműködőleg nyugalmi helyzetébe



16. rajz.

visszatérjen, az elektrométert fémlappal kötötték össze (F), amelylyel szemben egy másik, a földdel összekötött fémlapot helyeztek, amelyre kevés rádióaktív anyagot terítettek. E berendezés ellenállásként működött. Ugyanis, a D elektród, az elektrométerrel s ez, az (F) ellenálláson át, a földdel volt összekötve. A két lemez között elterített rádióaktív anyag mennyiségét úgy választották meg, hogy az a levegőt csak annyira ionizálja, hogy az, a D elektród felől jövő elektromos áramot lassan vezesse el, ezáltal az egyes, a (C) kondenzátorba jutó α -részecskék okozta áram egy része az elektrométerre jusson s azt nyugalmi helyzetéből kimozgassa, az elvezetés azonban elég gyors legyen, hogy az elektrométer, egy másik α -részecskének a kondenzátorba jutásakor már ismét nyugalmi helyzetében legyen.

A hengerre leválasztott rádióaktív anyag mennyiségének, a csillámablaktól való távolságának és a csillámablak felületének ismeretében, az elektrométernek adott időben megszámlált kilengéseiből kiszámították, hogy a kísérlethez használt rádióaktív anyag adott mennyisége másodpercenként, hány α -részecskét lövell ki.

Rutherford és Geiger számításai szerint, egy gramm rádium,

újonnan előállított vegyületeiből, másodpercenként 3.4×10^{10} α -részecskét lövell ki.

A fentebb leírt kísérlet szerint tehát $Ne = 31.6$, ez utóbbi szerint pedig $N = 3.4 \times 10^{10}$, tehát $e = 9.3 \times 10^{10}$, elektrosztatikai egységekben kifejezve.

Ez adatból következik, minthogy az ión töltés 4.7×10^{10} elektrosztatikai egység, hogy az α -részecskék két ión- és pedig pozitív ión töltést hordanak magukon.

Az α -sugaraknak nagy sebességgel kiröpített önálló anyagi voltát, Crookes-nak, könnyen utánozható és ezért általánosan ismert kísérlete szépen bizonyítja. Ha cinkszulfid ernyőnek α -sugarak okozta világítását nagyítóval figyeljük, úgy a zöldes fény, a sugárzó anyag közelében erős hullámozást mutat, az ernyőnek, a sugárzó testtől távolabb eső részén pedig, egyes fénypontok fölvilágítását figyelhetjük meg. Az egész kép olyan, mintha a villogást egyes részecskéknek cinkszulfidhoz való ütődése okozná. E kísérlet igen könnyen megismételhető. Ha tű hegyét rádiumos oldatba mártjuk és megszáradása után sötétben, kristályos cinkszulfiddal bevont lap fölé tartjuk, úgy a jelenséget már gyöngye nagyítóval is megfigyelhetjük. Természetesen, a megfigyelés előtt szemünket egy ideig a sötétbe kell szoktatnunk. Meg kell még jegyeznünk, hogy az egyes villanásokat annál jobban megfigyelhetjük, minél hígabb rádiumos oldatot használunk a kísérlethez. Egyébként Crookes, megfigyelések végzésére, kis készüléket állított össze, amely *spintariskop* néven kapható.

Crookes kísérletét Regener, vékony poloniumréteggel bevont fémlapnak, az idő egysége alatt kilövellte α -részecskéknek közvetlen megszámlálására fölhasználta. Regener egyrészt megállapította egy ilyen lap kilövellte α -részecskéi továbbított összes elektromos töltést, másrészt megfigyelte, illetve megszámlálta az ugyane lappal szembehelyezett cinkszulfidos lapon jelentkező fölvilágításokat, s e kísérletével szintén megállapította, hogy egy α -részecske két ión töltést hord magával.

Regener kísérletét Rutherford és Geiger megismételték, illetve tökéletesítették. Rutherford és Geiger, az átlátszatlan zinkszulfidos ernyőt, természetes cinkszulfidból, gyémántból vagy villemitből készült, igen vékonyra csiszolt, átlátszó lemezekkel helyettesítették és a villanások megszámlálását, immerziós mikroszkóppal végezték. E kísérletük, a már előbb leírt kísérletük eredményét mindenben megerősítette, sőt még jobb, 2%-ig egybevágó eredményekre vezetett.¹

¹ A fent leírt kísérletek olyanok, hogy azok könnyen megismételhetők, sőt alkalmasan berendezett laboratóriumokban be is mutathatók. E kísérleteket, apróbb módosításokkal többen megismételték s a fentiekkel egyező eredményeket kaptak. Az utóbb megejtett kísérletek eredménye a fentiekhez abban különbözik, hogy az

Az α -sugarak tömege, mint azt már említettük, az elektromos és mágneses térben való viselkedéséből, ha azokat egy ióntöltéssel bíróknak vesszük, két hidrogén atom tömegével adódik egyenlőnek. A fent leírt kísérletekből azonban kitűnik, hogy egy-egy α -részecske nem egy, hanem két ióntöltést hord magával, ennél fogva tömege, a hidrogén atom tömegének négyszerese, vagyis akkora, mint egy hélium atom tömege. Eszerint, az α -részecskék nagy sebességgel kilövellt, két pozitív elektromos töltéssel bíró, hélium atomokból állanak.

Hogy a rádiumból hélium keletkezik, már e kísérletek megajtése előtt is gyanították. Ugyanis a héliumot Ramsay, rádiumtartalmú ásványokban fedezte föl, s már akkor föltűnt neki, hogy a héliumtartalmú ásványokban a rádiumnak is aránylag nagyobb mennyisége található. Héliumnak α sugárzó rádióaktív anyagokból való keletkezését, Rutherford és mások, számtalan kísérlettel bizonyították be.

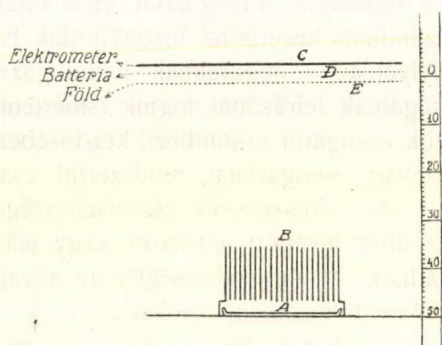
Rutherford kísérletét, melylyel az α -sugaraknak héliumgázzá alakulását bizonyítja, a rádium sajátosságainak leírásánál fogjuk ismertetni.

A különböző rádióaktív anyagok α -sugarai különböző kezdősebességgel bírnak. Egyenmő rádióaktív anyag, α -sugarakat, rendszerint csak egyféle kezdősebességgel lövell ki. Az α -részecskék kezdősebessége, légüres térben állandó marad, ha azonban levegőn, gázokon vagy más, szilárd vagy cseppfolyós testen haladnak át, úgy sebességük az anyagi részecskékhez való ütdés következtében fokozatosan csökken.

Érdekes viselkedést mutatnak az α -sugarak, ha gázokon vagy más testen haladnak át. Az α -sugarak viselkedését levegőben, Bragg és Kleeman tanulmányozták és azt tapasztalták, hogy azok levegőn áthaladva, ionizáló tehetségüket bizonyos távolságon belül, *függetlenül a már megtett úttól*, tehát függetlenül sebességüktől, közelítőleg egyenletesen fejtik ki, de ionizáló tehetségük bizonyos határon túlhaladva, hirtelen s egyszerre megszűnik.

egy gramm rádiumnak másodpercenként kilövelte α -sugarainak számát, a fent közölt értéknél valamivel nagyobbak találták. Ugyanez tűnt ki Rutherford és Geiger adatainak újabb átszámításánál is. Ugyanis, az a rádiumos készítmény, amelynek γ sugárzását Rutherford és Geiger, az elektrolitosan lecsapott rádióaktív anyagok mennyiségének meghatározására használtak, mint az annak, a később előállított nemzetközi standard-készítménnyel való összehasonlításakor kint, még nem volt egészen tiszta rádiumvegyület. A nemzetközi standard és a Rutherford és Geiger használta készítmény sugárzása közti különbséget számításba véve, az egy gramm rádiumból, másodpercenként kilövellt α -sugarak számát 3.5×10^{10} -nek kapták. E különbség azonban, a főnti kísérletek végeredményét nem befolyásolja, amennyiben szerzők mindakét esetben, tehát akkor is, amikor a meghatározott mennyiségű rádióaktív anyag α -sugarai továbbította összes töltést, valamint akkor, amikor az α -sugarak számát meghatározták, a rádióaktív anyag mennyiségét ugyanazon készítmény segítségével határozták meg, tehát mindakét esetben ugyanazon hibát követték el, s ez az alkalmazott számítási módnál kiküszöbölődik.

Bragg és Kleeman kísérletüket következő módon végezték: Lapos platinatányérka (17. rajz A) lapját a vizsgálandó α -sugárzó anyag igen vékony rétegével vonták be. Vastagabb réteg nem használható, mert ez esetben a rádióaktív réteg belsejéből kiinduló sugarak, mielőtt a levegőbe jutnak, szilárd rétegen haladnak át, minek folytán különböző sebességű részecskék keverednek. A platinatányérka fölé 1 cm hosszúságú, 1 mm átmérőjű, összeforrasztott fémcsövekből készült diafragma sort (B), helyeztek el. E diafragma sornak célja, a jelen esetben a sugaraknak az elektromos és mágneses térben való tanulmányozásakor alkalmazott ólomcsövével azonos, t. i. arra szolgál, hogy csak a párhuzamosan haladó sugarakat bocsássa át. A platinatányérkát és a diafragmát, függőleges irányban eltolható lapra helyezték. Ezzel szemben, egymástól szige-



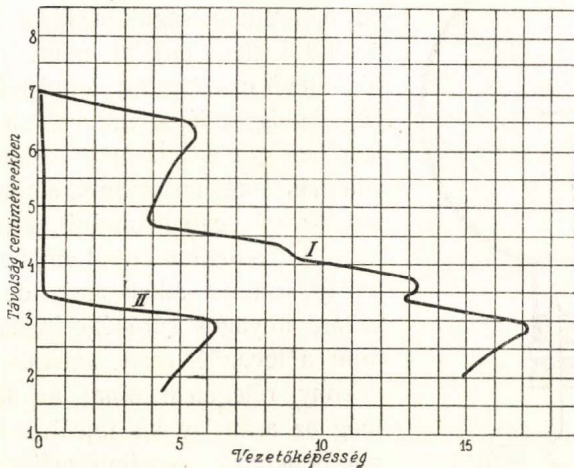
17. rajz.

telten, egy-egy milliméternyi távolságban, egy fémlapot (C) és két fémszitaszövetet (D—E) alkalmaztak, melyek közül a C fémlap elektrométerrel, D szitaszövet az elektromos telep egyik sarkával és E szitaszövet a földdel volt összekötve. A platinatányérkát tartó lap, mint említettük, függőleges irányban elmozdítható és a tányérkának D szitaszövettől való távolságát mérőszervezet mutatja. A platinatányérka lapjáról kiinduló sugarak közül, a tányér lapjára merőlegesen haladók a fémcsöveken át jutva, a fölöttük lévő levegőn áthaladva, azt ionizálják. A C lappal összekötött elektrométer azonban, csak a C lap és D szitaszövet közti levegő vezetőképességét, tehát csak azon ionoknak jelenlétét jelzi, amelyek a C fémlap és D szitaszövet közé jutott sugarak hatására keletkeztek, mert a földdel összekötött E szitaszövet az alatta, tehát a sugaraknak az A-tól E-ig való útjában termelt ionokat megköti s így megakadályozza, hogy azok a C és D közti térbe jussanak. Bragg és Kleeman szerint, ha a kísérlet elején a tányérka lehetőleg közel volt a szitaszövethez s azt attól lassankint eltávolítjuk, úgy ez alatt a C és D közti térbe jutó sugarak hatására keletkezett áram, egyideig közelítőleg állandó marad, de néhány ccentiméternyi távolságon túl, hirtelen nullára csökken. E határ meglehetősen éles és a különböző rádióaktív anyagok kilövellte α -sugarainál különböző; így pl. a polonium α -sugarainál ez a távolság 5.85 cm. Ez a távolság megváltozik, ha a sugárzást levegő helyett más gázban vizsgáljuk vagy pedig ha a levegő nyomását csökkentjük vagy növeljük. Bragg és Kleeman megfigyelései

szerint e távolságon túl az α -sugarak nemcsak ionizáló tehetségüket, hanem a fény érzékeny lemezre való hatásukat is elveszítik, valamint azon tulajdonságukat, hogy egyes testeket világításra indítanak.

Bragg és Kleeman ezen távolságot, amelyen belül valamely rádióaktív anyag α -sugarai, normális nyomású és hőmérsékletű levegőben, hatásukat kifejteni képesek, az α -sugarak ható távolságának nevezik. Egy és ugyanazon rádióaktív anyag kilövellte α -sugarainak hatótávolsága állandó, a különböző rádióaktív anyagoké különböző. Az eddig ismert rádióaktív anyagok α -sugarainak hatótávolsága 2·6 és 8·6 cm között változik.

Bragg és Kleeman, régibb rádiumos készítmény α -sugarainak hatótávolságát tanulmányozva azt tapasztalták, hogy azok, az egyenmű α -sugárzó anyagoktól eltérő módon viselkednek, amennyiben a

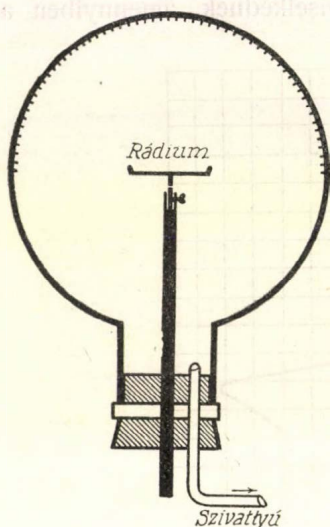


18. rajz.

vezetőképesség, a kondenzátortól való távolításakor nem egyszerre, hanem ugrásszerűleg csökkent zérusra. Bragg és Kleeman adatait grafikusán a 18. rajz I. számú görbéje tünteti föl. E görbén 3·5, 4·23, 4·83 és 7·06 cm távolságban, négy kiugrást láthatunk. A vizsgált, régibb rádiumos készítmény tehát, négyféle hatótávolságú α -sugarat lövellt ki. Mivel az egyenmű rádióaktív anyagok csak egyenlő hatótávolságú α -sugarat lövellnek ki, a fenti adatokból az következik, hogy a régibb rádiumos készítmény nem egyenmű, hanem benne négyféle α -sugárzó rádióaktív anyag van. E föltevés igaz voltát bizonyítja Bragg és Kleeman-nak, újonnan átkristályosított rádiumvegyülettel nyert és a 18. rajz II. görbéjén föltüntetett adatai. E négyféle α -sugárzó anyagot, mint később látni fogjuk, egymástól elválaszthatjuk és külön-külön tanulmányozhatjuk.

Az α -sugarak hatótávolságáról közölt adatok, mint említettük, mindig normális nyomású levegőre vonatkoznak, de miként az ez irányban végzett kísérletek mutatják, az α -sugaraknak hatótávolsága, fordítva arányos azon anyagnak sűrűségével, melyen a sugár áthalad. Ez a szabály, bármilyen halmazállapotú közegre érvényes.

Az α -sugarak hatótávolságát a következő kísérlettel szépen észlelhetjük. Körülbelül 8–10 cm sugarú, szélesszájú, gömbölyű fenekű lombik belső felét, vékony, kristályos cinkszulfidréteggel vonjuk be (19. rajz). A lombik kétfuratú dugójának egyik furatába dugott fémrúdnak, a lombik központjába érő végére rögzített kis platinatányérkán, előzőleg kevés rádiumos oldatot párologtattunk el. A dugó másik furatába illesztett



19. rajz.

üvegcsövet légszivattyúval kötjük össze. Ily elrendezéssel, a csészén lévő rádium α -sugarai, hatótávolságukon kívül lévő cinkszulfidot nem érik el, miért is a lombik alján lévő cinkszulfid mindaddig nem világít, amíg, a légszivattyúval, a lombikban lévő levegőt eléggé nem ritkítottuk és a világítás ismét megszűnik, amint a lombikban lévő levegő nyomását növeljük.

Az α -sugarak, mint említettük, szilárd anyagokon is áthaladnak, de miután a szilárd anyagok sűrűsége sokkal nagyobb, mint a levegőé, azért, azoknak csak igen vékony rétegén hatolnak át. Így például, még az aránylag kis fajsúlyú aluminiumnak is néhány századmilliméter vastagságú lemeze is, teljesen elnyeli az α -sugarakat.

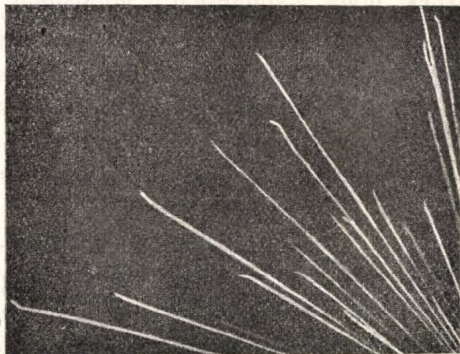
Csillámlemezben, a legnagyobb sebességű α -sugarak 0.4 mm távolságig hatnak. A véletlen műve, hogy a különböző α -sugarak hatótávolságát csillámban, pontosan ismerjük. Ugyanis gyakran találunk uránium, rádium vagy thorium szemcséket csillámba zárva. Az ilyen uránium vagy thoriumszemcsék körül, nagytón, fokozatosan világosodó, élesen elválasztott, az áthaladó α -sugaraktól megfestett udvarokat figyelhetünk meg, amelyek mindegyike, egy-egy α -sugárcsoport ható körzetének felel meg.

Az α -sugarakról tudjuk, hogy kezdősebességük, anyagi részecskéhez való ütdéskor fokozatosan csökken. E körülmény tehát amellet szólna, hogy e sugaraknak ionizáló és egyéb képessége, a sebességgel együtt fokozatosan csökken. A leirt tények azonban mást bizonyítanak. Az α -sugaraknak ionizáló és egyéb képessége, pályájuk egy részén közelítőleg egyenlő, sőt annak végső részén, mielőtt a hatóképessége megszűnik, a legerősebb.

Az α -sugarak e viselkedését úgy magyarázzák, hogy az α -sugarak hatóképessége csak minőségileg, de nem mennyiségileg, függ a részecskék sebességétől. Azaz a különböző sebességű α -sugarak ionizáló és egyéb tehetsége közelítőleg egyenlő, de a sebességnek egy minimumon felül kell lennie, mert ha *e kritikus sebesség alá csökken, úgy a hatóképesség egyszerre, teljesen megszűnik. A kritikus sebesség többek vizsgálata szerint, a fénysebesség 0.027 részével egyenlő.* Eszerint a nagyobb kezdősebességű α -sugarak hatótávolsága is nagyobb, mert a nagyobb kezdősebességű α -sugarak később érik el a kritikus sebességet.

Az α -sugarak viselkedését és azt, hogy azok egyes önálló részecskékből állanak, szépen mutatja a 20. kép. E fényképmásolat, melyet Meyer St. és v. Schweidler E., „Radioaktivität“ című könyvéből vettünk át, Wilson leírása után készült. Wilson, egy α -sugárzó anyag

végtelen csekély mennyiségével bevont tüt, bura alá helyezett, amelyben vízgőzzel telített levegő volt. A burában lévő levegőt, a gázióokról szóló fejezetben leírt módon ritkította, amikor az α -részecskék útjában képződött ionokra víz csapódott le. Eközben a burát erősen megvilágította s vele szemben fényképező készüléket állított föl oly módon, hogy a burának az a része volt élesen beállítva, amely a rádióaktív anyaggal bevont tü fölött



20. kép.

volt. A képen látható fehér csíkok, a vízcseppekből reflektált fénytől erednek s azok egy-egy α -részecske útját mutatják. Mint látjuk, az α -sugarak ionizálótéhsége azok egész pályáján, közelítőleg egyenlő s hirtelen szűnik meg. A képen egyes α -részecskék pályája rövidebb, a másoké hosszabbnak látszik. Ennek oka az, hogy a sugarak a tér minden irányában haladnak s így a fényképező lemezzel párhuzamosan haladó sugarak útja hosszabbnak látszik, mint az azzal ferde síkban haladóké.

A β -sugarak, elektromos és mágneses térben, az α -sugarakkal ellentétes irányú elhajlást szenvednek; miből következik, hogy ezek is bírnak elektromos töltéssel, de ez, az α -sugarakéval ellentétes, tehát a β -sugarak töltése *negatív elektromosság* és így a katód-sugarakhoz hasonlóak. A β -sugarak, a katód-sugarakhoz hasonlóan szintén, de jóval nagyobb sebességű elektronokból állanak. Nagyobb sebességük folytán, a különböző testeken való áthatolótehségük is nagyobb.

A β -sugarak sebessége, a fény terjedési sebességének 0.25 és 0.95 része között váltakozik. E sugarak közül azokat, amelyeknek sebessége, a fénysebesség 0.25 és 0.70 része közé esik, szemben az ennél nagyobb sebességű β -sugarakkal, lassú vagy lágy β -sugaraknak nevezik. Ez utóbbiaknak jóval kisebb az áthatolóképességük, mint az előbbieké. Amíg a gyors β -sugarak több méternyi levegőrétegen is áthatolnak, addig a lágy β -sugarakat csak a sugárzó anyag közelében mutathatjuk ki és ezeket már oly vékony fémlemez is elnyel, amelyeken a gyorsabb β -sugarak elenyésző veszteséggel haladnak át. Ismerünk még 0.25 fénysebességnél kisebb sebességű β -sugarakat is. Ezeket δ -sugaraknak is nevezik s jelenlétük nehezen mutatható ki.

A nagysebességű β -sugarak, rendszerint γ -sugarak társaságában találhatók. A β -sugárzó anyagok, az α -sugárzóktól nemcsak abban különböznek, hogy γ -sugarakat is kilövellnek, hanem, míg az α -sugárzó anyagok, rendszerint csak egyféle sebességű α -sugarat lövellnek ki, addig a β -sugárzó anyagoknál, különböző sebességű β -sugarakat találunk. Ez az oka annak, hogy amíg az egynemű α -sugárzású anyag, mágneses térben eltérített α -sugarainak, fényképező lemezen megörökített útja keskeny, éles határú csík (14. kép), addig a β -sugarat útját, legyezőszerűleg elterülő sáv mutatja. (13. kép).

Ha, a mágneses térben eltérített β -sugarakkal szemben, oly módon helyezzük el a fényképező lemezt, hogy a sugarak arra merőlegesen essenek, úgy azon legtöbbször, több, egymástól élesen elválasztott csíkokból álló képet (mágneses spektrumot), néha összefolyó sávot kapunk, ami bizonyítja, hogy az eredeti sugárkévében többféle, egymást követő sebességű β -sugár volt jelen.

E jelenség ellentmondásban van azzal, a később ismertetendő elmélettel, melynek alapja, hogy valamely egynemű rádióaktív anyag csak α - vagy csak β - és γ -sugarakat, még pedig egyféle sebességgel lövell ki. Ez ellentmondást kiküszöbölendő, Rutherford e jelenséget úgy magyarázza, hogy a β -sugarak, eredetileg egysebességűek volnának, de kilövellésük pillanatában, a rádióaktív atómba ütközve, különböző sebességet nyernek.

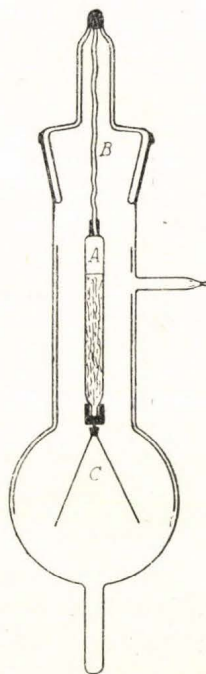
Miként az α -sugarak, a β -sugarak is ionizálják a levegőt, megbontják a fényérzékeny lemezt és villódzó anyagokat gyenge világitásra indítanak, de, amíg az α -sugarak nagymértékben ionizálják a levegőt, addig a β -sugaraknak ionizálóképessége elenyésző, a fényérzékeny lemezre azonban sokkal erősebben hatnak. Ez a körülmény kezdetben, amikor még a rádióaktív anyagokat, valamint azok sugarainak viselkedését kevésbé ismertük, sok ellentmondásra adott okot, amennyiben, a fényérzékeny lemez segítségével eszközölt vizsgálatok sokszor, látszólag ellentétes eredményre vezettek azokkal a tanul-

mányokkal szemben, amelyeket a sugarak ionizáló képessége alapján végeztek.

A β -sugarak világítást okozó tehetsége különbözik az α -sugarakétól. Ugyanis, míg az α -sugarak a kristályos czinkszulfidot, addig a β -sugarak a platincziánbáriumot és villemitet indítják a legerősebb világításra és ha a β -sugarak okozta világítást nagyítóval figyeljük, nem észlelhetjük az egyes pontoknak, az α -sugaraknál megfigyelt felvillanását.

Hogy a β -sugarak elektromos töltést továbbítanak, Strutt következő kísérlete bizonyítja: Két czentigramm régibb rádiumvegyületet, oly vékonyfalú üvegcsőbe (21. rajz A) forrasztott, melynek alsó végébe, a rádiummal érintkező platinasodrony volt beforrasztva s arra két aranylemez (C) erősítve. Az üvegcsövecskét szigetelő kvarczfónál (B) segítségével, alsó részén tekévé szélesített, köszörüléssel elzárt és belülről fémllemezrel bevont szélesebb üvegcsőbe függesztette. Ha a külső edény levegőjét kiszivattyúzzuk, úgy, amint a levegő kellően ritkult, a kezdetben egymáshoz simuló két aranylemez egymástól elválk, egymástól mindinkább eltávolodik, mindaddig, amíg csak az egyik lemez az edény falát, illetve a fémllemez, amelylyel az be van vonva, el nem éri. Ekkor a két lemez összeesik, majd megint lassanként szétválk és pedig annál gyorsabban, minél több rádium van az üvegcsövecskében. Az üvegcsövecskébe forrasztott régibb rádiumvegyület ugyanis, α -, β - és γ -sugarakat lövell ki. A β -sugarak a vékonyfalú üvegen áthatolnak, az α -sugarak pedig nem, töltésük visszamarad s a rádium, illetve az azzal érintkező platinasodrony, valamint az azokra függesztett lemezek, pozitív töltést kapnak. A lemezek tehát egymást taszítani fogják mindaddig, míg az egyik lemez, a külső edényben lévő fémlapot el nem éri, ahol a nyert töltést leadva összeesik. A külső edényben lévő levegőt azért kell eltávolítanunk, mert ellenkező esetben a β -sugarak azt ionizálnák, s ez a lemezek töltését elvezetné, mielőtt azok kilengének.

A fönt leirt kísérletnél a lemezek kilengését, a csövecskében visszamaradt pozitív töltés okozza. Ha szélesebb, zárt, belül fémllemezrel bevont üvegcsőbe (22. rajz A) keskenyebb, fölül nyitott üvegcsövet (B) forrasztunk, e csövet szigetelő kvarczrúdon elhelyezett, oly fémcsővel (C) vesszük körül, amelynek oldalára fémllemezket függesztünk és a keskeny üvegcsőbe rádiummal telt üvegcsövecskét helyezünk, úgy ugyancsak megfigyelhetjük, a fémcsőre ragasztott lemezke kilengését,



21. rajz.

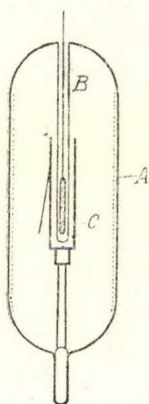
csak hogy ez esetben, a lemez kilengését a csőből kijutó β -sugarak töltése okozza, amelyek a fémcsőbe ütődve, töltésüket annak átadják. E berendezésnek előnye, hogy a belső csőbe helyezett rádiumot a készülékből elvehetjük s más célra is felhasználhatjuk anélkül, hogy a készüléket szétbontanunk kellene.

A nagysebességű β -sugarak, mint említettük, több méter vastag levegőrétegen áthaladva, még észrevehető hatást tudnak kifejteni. Fémeket és más szilárd testeket is, az α -sugaraknál könnyebben járnak át. Ez utóbbiaktól abban is különböznek, hogy, amíg az α -sugarakat a fémeknek már csekély vastagságú rétege teljesen elnyeli, vagy ha a fémréteg elég vékony ahhoz, hogy az α -sugár rajta átjuthasson, úgy azok hatásukat mindaddig, a míg sebességük, a kritikus sebességre nem csökken, gyengítetlenül fejtik ki, addig a β -sugarak hatása, ha útjukban szilárd testeken haladnak át, fokozatosan gyengül.

A szilárd testeken áthaladó β -sugár intenzitásának csökkenését, közelítőleg a következő egyenlet fejezi ki:

$$I_v = I_0 e^{-\mu v}$$

amelyben: I_0 , a sugár eredeti intenzitását,
 v , az átgáz szilárd test vastagságát,
 I_v , a v vastag szilárd réteget átgáz sugár intenzitását,
 e , a természetes logaritmus alapszámát (2.71828) és
 μ , állandót, az abszorpció együtthatást jelenti.



22. rajz.

Egyrészt, miután a szilárd testeken áthaladó β -sugár nem hódol szigorúan a fenti egyenletnek, másrészt mivel μ értékének ismerete, gyakorlatilag csak átszámítással használható, azért a gyakorlati tájékoztatás céljából, leginkább valamely fémlemeznek, rendszerint alumíniumnak azt a vastagságát közlik, amely a megfelelő β -sugár felét elnyeli. Így például az uránium X-nek nevezett rádióaktív anyag β -sugarainak felét, 0.43 mm vastag alumíniumlemez nyeli el. Ami azt jelenti, hogy az uránium X kilövellte β -sugár, ha 0.43 milliméter vastag lemezen áthalad, eredeti intenzitásának felét, kétszer ily vastag rétegen egy negyedét, háromszor olyanon már csak nyolczadát, stb. mutatja.

A γ -sugarak útjára az elektromos és a mágneses erők hatástalanok. E sugarak, ennél fogva hasonlatosak a Röntgen-féle sugarakhoz, csak hogy ezeknek, szilárd testeket átgáz tehetsége, sokkal nagyobb amazokénál. Így pl. vastagfalú páncélszekrénybe zárt, félgrammnyi rádium γ -sugarainak foszforeszkáló hatását, a szekrényen kívül, még néhány méter távolságban is elég jól megfigyelhetjük.

Abból, hogy a γ -sugarak mindig a nagysebességű β -sugarak társaságában fordulnak elő, továbbá, mivel a Röntgen-féle sugarak ott keletkeznek, ahol a katódsugarak szilárd testekbe ütődnek, azt következtetik, hogy úgy a γ -, mint a Röntgen-féle sugarak, mágneses éterimpulziók volnának.

Miként a β -sugarak, a γ -sugarak is, az α -sugaraknál kevésbé ionizálják a levegőt, de erősebben hatnak a fényérzékeny lemezekre. Ezek is jobban hatnak a platincziánbáriumra és willemitre, mint a kristályos cinkszulfidra. Szilárd testeken áthaladva, sokkalta nagyobb áthatolókéességüktől eltekintve, egészen úgy viselkednek mint a β -sugarak. Ugyanaz a képlet, melyet a β -sugarak viselkedéséről közöltünk, a γ -sugarakra is érvényes. Gyakorlati szempontból azonban, a γ -sugarak állandói között is, leginkább a fémlemez vastagságát adjuk meg, melyek e sugarak felét elnyelik, természetesen a kisméretű alumínium helyett, e célra a sokkal nagyobb méretű ólmot vagy rézet használjuk. Így például, az uránium X γ -sugarainak felét 0.95 centiméter vastag ólom, vagy 1.68 centiméter vastag rézlemez nyeli el.

Ha a β - vagy γ -sugarak szilárd testekhez ütődnek, vagy szilárd testeken haladnak át, úgy e szilárd testek közelében, és pedig úgy azon az oldalon, ahol a sugarak a lemezt érik, mint azon, ahol azt elhagyják, a levegőt sokkal nagyobb mértékben ionizáltnak találjuk, mint a lemeztől távolabb. Ugyanezt tapasztaljuk a Röntgen-féle sugaraknál is.

E jelenséget úgy magyarázzák, hogy e sugarak szilárd testekbe ütődve, vagy azokon áthaladva, részben szétszóródnak, részben másodlagos β - és γ -sugarakat termelnek, amelyeknek áthatoló tehetsége többnyire jóval kisebb, mint az eredeti sugaraké.

A rádióaktív mérési módszerek.

Úgy az α -, mint a β - és γ -sugarak közös sajátága, hogy a cink-szulfidot, platincziánbáriumot, willemitet és más anyagokat világításra indítanak; hogy a fényérzékeny lemezt megbontják; továbbá, hogy a levegőt ionizálják.

E tulajdonságok mind olyanok, amelyek bizonyos esetekben mérési módszerekre felhasználhatók. Ezek közül, az elsőnek említett világításra indító tehetség, mivel csak erősebben aktív anyagok képesek jobban észlelhető világítást okozni, csak egyes esetekben használható. A sugaraknak fényérzékeny lemezt elbontó tehetségét azok kimutatására, kezdetben igen elterjedten használták és ez eljárás még ma is igen jó szolgálatot tesz, különösen akkor, ha a sugarak útját akarjuk vizsgálni. E tulajdonságot, tekintve, hogy erősebben aktív anyagok a lemezt gyorsabban és erősebben, gyengébben aktívek pedig hosszabb idő alatt és gyengébben támadják meg, igen könnyen, quantitativ mérésre is felhasználhatjuk. Az erre alapított eljárásnak előnye, hogy semmi berendezést nem igényel, s így bárhol elvégezhető. Hátránya azonban, egyrészt az, hogy a gyengébben aktív anyagok csak nagyon lassan támadják meg a fényérzékeny lemezt. Így például a fémuránium sugarai is, csak körülbelül 24 óra alatt adnak észrevehetőbb képet. Hibája még, hogy a rádióaktív sugarakon kívül, más körülmények is okozhatják a fényérzékeny lemez megfeketedését, tehát könnyen tévedhetünk. Így például, gyakran okozott tévedést a kénhidrogéngáz, amely sokszor fejlődik a kőzetekben.

Rádióaktív mérésekre legáltalánosabban, a sugaraknak a levegőt ionizáló tehetségét, — tehát, hogy azt elektromosan vezetővé teszik, — használhatjuk.

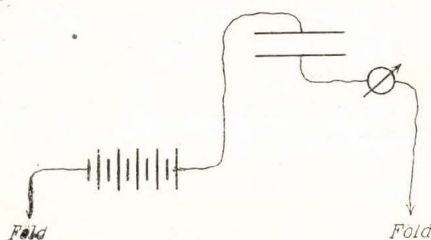
Ez eljárásnak lényege, hogy a sugarakat két, egymástól elszigetelt fémlemezből álló kondenzátorlap közé juttatjuk és a levegőnek a sugarak okozta vezetőképességét mérjük, illetve meghatározzuk az azon áthaladó telítési áramot.

E meghatározás, lényegileg kétféleképpen történhetik. Az egyik eljárási mód az, hogy az egyik kondenzátorlemezt a földhöz kapcsolt elektromos telep egyik sarkával, a másik lemezt a galvanométerrel és

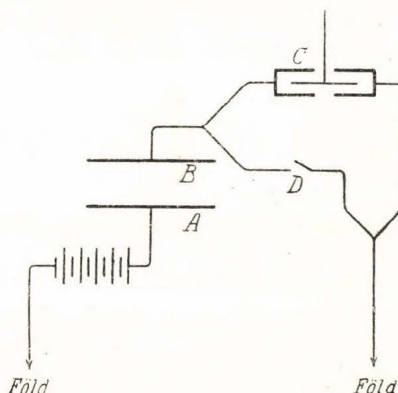
azt ismét, a földdel kapcsoljuk össze. E berendezést csak erősebb rádió-aktív hatások mérésére használhatjuk.

A készülékek elrendezését, a galvanométerrel történő mérésnél, az alábbi, 23. rajzon közölt vázlat mutatja. E berendezésnél tehát, a telepből, a levegőn, galvanométeren és a földön át, zárt áramkört létesítünk és az áram intenzitását mérjük.

Olyan erős hatásokkal, melyek észlelésére galvanométert használunk, csak ritkán dolgozunk. Az esetek legtöbbszörében, csak igen gyenge áramokat kapunk, amelyek meghatározására a quadráns elektrométert használjuk. Ezen eszköz, az x idő alatt nyert töltést méri és nem, mint a galvanométer, a rajta áthaladó áram intenzitását adja meg. Ez esetben tehát, a készülék egyes részeinek elrendezése némiképpen változik. Az egyik lemezt (24. rajz A) az elektromos teleppel kötjük össze, amelyet az előbbi esethez hasonlóan kapcsolunk, a másik B lemez kettős kapcsolást



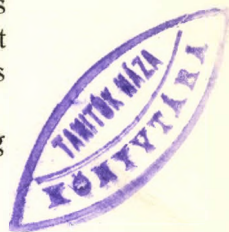
23. rajz.



24. rajz.

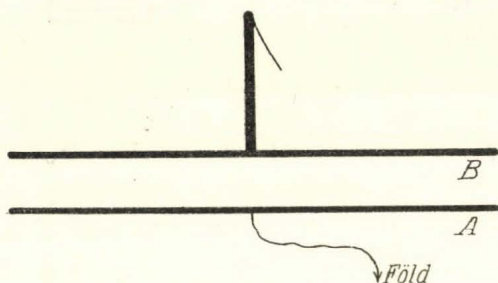
kap. A vezeték egyik ága az egyik quadráns párral (C), a másik ága pedig a földdel van összeköttetésben. A vezeték földdel-kötött ágába, D-nél megszakító van iktatva. Az elektrométer második quadráns párja, szintén a földdel van összekötve. Megfigyelés előtt, a D megszakítót zárva tartjuk. Ilyenkor tehát mindakét quadráns pár, valamint a második (B) kondenzátor is, a földdel van összekötve. Ez esetben az elektrométer tűje nyugalmi helyzetében lesz és az A lemeztől B lemez felé haladó áram a földbe vezetődik el. Közvetlenül a megfigyelés előtt, a kettős vezeték földdel összekötött ágát megszakítjuk. Ilyenkor az A lemeztől, az ionizált levegőn át B-re jutó elektromos mennyiség, B lemezen és a vele összekötött quadráns páron halmozódik föl. Ennek hatására a quadráns tűje megmozdul. Az észlelő ezen elmozdulást megfigyelni és pedig, vagy az időt méri, mely alatt a quadráns tűje meghatározott nagyságú elmozdulást végzett, vagy az adott időben végzett elmozdulás nagyságát figyeli meg.

A fent leírt kapcsolási és meghatározási módokon kívül még



mások, az úgynevezett kompenzációs módszerek is használatosak, de ezek leírását, tekintve, hogy a quadráns elektrométerrel való mérések nagyon kényesek, mellőzzük.

A fent leírt módszereknél, amelyeknek lényege, hogy az egyik lemezt az elektromos telep egyik sarkával, tehát állandó áramforrással kötjük össze s az erről, az ionizált levegőn át, a másik lemezre jutó elektromos mennyiséget mérjük, sokkal gyakrabban használjuk azokat a módszereket, amelyeknek lényege, hogy az egyik lemeznek ismert mennyiségű töltést adunk, és ennek kisülési sebességét mérjük. Mérő eszközül ilyenkor az elektroszkópot használjuk. E módszerek berendezését, vázlatosan a 25. rajz mutatja. Az egyik lemezt *A* a földdel kötjük össze. Ezzel szemben, szigetelten áll a másik lemez *B*, amelyre erősített fémrúdon, aranyfűstből vagy igen vékonyra nyújtott alumíniumból készült elektroszkóp lemez függ. A megfigyelés előtt, *B* szigetelt



25. rajz.

lemeznek, dörzsölt ebonitrúd, Zamboni-oszlop vagy kis kézi elektromos gép segítségével töltést adunk, amire a rúdhoz simuló elektroszkóp lemez attól elválik s a rajzon föltüntetett helyzetbe kerül. Ha az *A* és *B* közötti levegő nincs ionizálva és a szigetelés tökéletes, úgy a lemezke helyben marad; ha azonban a két lemez közti le-

vegő ionizálva van, úgy az, a felső lemez töltését, az alsó lemezen át, a földbe vezeti. Ennek hatására az elektroszkóp lemeze esni kezd, és pedig annál gyorsabban, minél erősebben ionizált a levegő. Az elektroszkóp lemez mozgási sebességét leginkább, okulár mikrométeres mikroszkóppal figyeljük meg. Az arany vagy alumínium lemezes elektroszkópok helyett, gyakran használjuk, az úgynevezett kvarcshálós elektrométereket is. Ezek lényegükben szintén elektroszkópok, amelyekben a vékony fémlemezket, hajszálvékonyra húzott s valami úton vezetővé tett kvarcshálók helyettesítik.

Úgy a quadráns elektrométer, mint az elektrométerként használt elektroszkóp, nem árammérő eszközök. Az előbbinek kilengése a fölvett, az utóbbinak elmozdulása az elvesztett elektromos mennyiségekkel arányos. Ez eszközök tehát nem adják meg, miként a galvanométer, az ionizált levegőn áthaladó áram intenzitását. Az intenzitást, ha az utóbb említett eszközöket használjuk a mérésre, csak számítás útján kapjuk meg.

Hogy a számítást elvégezhessük, ismernünk kell az elektrométer tűje, vagy elektroszkóp lemeze különböző helyzetének megfelelő poten-

cialt, a készülék kapacitását s ismernünk kell az időt, mely alatt az elektrométer tűje vagy az elektroszkóp lemeze, az elektromosság áramlása folytán, bizonyos nagyságú elmozdulást végez.

Ezek alapján, ha:

i , az áram intenzitását,

v_1 , az elektrométer tűje vagy az elektroszkóp lemeze *kezdeti* helyzetének megfelelő, voltokban kifejezett potenciált,

v_2 , az elektrométer tűje vagy az elektroszkóp lemeze *második* helyzetének megfelelő voltokban kifejezett potenciált,

t , az időt másodpercekben mérve, mely alatt a tű vagy a lemez v_1 -től v_2 -nek megfelelő osztályvonáshoz jutott, és

C , a készülék kapacitását jelenti, úgy:

$$i = \frac{(v_2 - v_1) \times C}{t \times 300}$$

elektrosztatikus egységekben kifejezve, vagy

$$i = \frac{(v_2 - v_1) \times C}{t \times 9 \times 10^{11}} \text{ ampère,}$$

illetve, ha mérőeszközü az elektroszkópot használjuk, miután azzal, az eszköz elektromos töltésének elvezetését mérjük,

$$i = \frac{(v_1 - v_2) + C}{t \times 300}$$

elektrosztatikus egységekben kifejezve, vagy

$$i = \frac{(v_1 - v_2) + C}{t \times 9 \times 10^{11}} \text{ ampère.}$$

A mérési adatokat, tekintve, hogy igen kis áramok méréséről van szó, leginkább elektrosztatikus egységekben szoktuk kifejezni. Meg kell jegyeznünk, hogy összehasonlító méréseknél, például, mikor egy és ugyanazon test sugárzásának változását, vagy amikor a sugarak áthatoló-képességét stb. tanulmányozzuk, fölösleges a fönti számítást végrehajtani, elegendő, ha az időt adjuk meg, amely alatt az elektrométer tűje vagy az elektroszkóp lemeze, minden egyes mérésnél ugyanakkora elmozdulást tett, illetve célszerűbb, ha ez adatot átszámítva, az osztályvonások számát közöljük, amelyek előtt a tű, vagy a lemez, egy másodperc alatt elhaladt. Így például, ha ahhoz, hogy az elektroszkóp lemeze a 0 osztályvonástól, a 100 osztályvonáshoz érjen, az első megfigyelésnél 25, a másodikonál 50 másodperc volt szükséges, úgy az előbbi esetben egy másodperc alatt 4, a második esetben 2 osztályvonás előtt haladt el a lemez, tehát az áram intenzitása, az első esetben kétszerese volt a második esetben észlelt intenzitásnak.

Újabbban, az egyes rádióaktív anyagok mennyiségének meghatáro-

zása, a meghatározandó anyag sugárzásának, normál készítmények sugárzásával való összehasonlítása alapján történik. E meghatározási módokról, az egyes rádióaktív anyagok leírásánál lesz szó.

Két fémlapból álló kondenzátor helyett, a különböző czéloknak megfelelőleg, gyakran más alakú kondenzátorokat használunk. Így például sokszor, különösen a gázok aktivitásának mérésénél, hengerkondenzátorokat használunk. Ezek tulajdonképpen hengeralakú fémpalaczkok, melyeknek oldalán, a gáz átvezetésére két csap van alkalmazva és beléjük, szigetelten fémrúd nyulik. Ez esetben az egyik kondenzátorlemezt a palaczk, a másikat a fémrúd helyettesíti, és ez van az elektrométerrel kapcsolva vagy ennek, a hengerből kinyuló részére van az elektroszkóp-lemmez erősítve (lásd 38. rajz), míg a palaczk az elektromos teleppel, illetve, az utóbbi esetben, a földdel van összekötve.

Módosul a mérőeszköz berendezése aszerint is, amint az α -, β -, vagy γ -sugarak ionizálóképességét használjuk föl a mérésre, vagy mint mondani szoktuk, ha az α -, β -, vagy γ -aktivitást mérjük.

Ha tisztán α -sugarakat lövellő anyag aktivitását mérjük, úgy eczélra, tekintve, hogy az α -sugarak csak kis távolságra hatnak, és ezeket szilárd testek nagyon könnyen elnyelik, rendszerint lapos kondenzátorokat használunk. A két fémlap vízszintesen áll egymással szemben s az alsó lapra, lehetőleg vékony rétegben terítjük el a vizsgálandó anyagot. Ugyanígy járunk el akkor is, ha nem homogén α , β és γ sugárzó anyag α -aktivitását mérjük. Ekkor ugyanis, ha a két lemezt, az α -sugarak hatástávolságánál nem sokkal nagyobb távolságra állítjuk egymástól, a β - és γ -sugarak okozta áram, az α -sugarakéhoz képest oly kicsiny, hogy elhanyagolhatjuk. Ha pontosabb mérést akarunk végezni, úgy az első mérés után, az aktív anyagot, körülbelül 0.1 milliméter vastag, aluminium-lemezzel fedjük le. Ez az α -sugarakat elnyeli, míg a γ - és β -sugarakat, elenyésző veszteséggel átbocsátja. Ily módon újabb mérést végezve, s ez adatot az előbbiből kivonva, kapjuk a tiszta α -aktivitást.

A β -aktivitást közvetlenül, a sugarak ionizáló tehetsége alapján, megállapítani nem lehet. Megközelítő értéket kapunk, ha ugyanúgy járunk el, mint az α -aktivitás mérésénél, csak hogy ez esetben, tekintettel a β -sugarak gyenge ionizáló tehetségére, nagyobb kondenzátorokat kell használnunk és azokat egymástól nagyobb távolságra kell állítanunk.

Ez esetben is második mérést fogunk végezni, oly módon, hogy az aktív anyagot vastagabb ólomlemezzel fedjük le, de tekintve, hogy az ólom vastagabb rétege, nemcsak a β -sugarakat, de a γ -sugaraknak is észrevehetőbb mennyiségét nyeli el, ezt számításba kell vennünk. Ha a vizsgálandó anyag β - és γ -sugarakon kívül α -sugarakat is lövellne ki, úgy azt a mérés előtt, vékony aluminiumlappal kell lefednünk.

Összehasonlító mérések végzésére, gyakran használjuk fel a γ -

aktivitást. E célra úgy a lap, mint a hengeralakú kondenzátorokat használhatjuk, sőt használunk gömb- vagy félgömbalakú kondenzátorokat is. Ez utóbbiak egy nagyobb és egy kisebb fémgömb, illetve félgömbből állanak. A kisebb gömb, illetve félgömb elszigetelten, a nagyobb gömbön belül van elhelyezve és a két gömb közti levegő vezetőképességét mérjük. Miután a γ -sugarak áthatolóképessége nagy, a sugárzó anyagot egy tömegben, tehát nem szétterítve a kondenzátorokon kívül, illetve a gömb- és félgömbalakú kondenzátoroknál, a gömb középpontjába helyezzük el és ezenkívül még vastagabb ólomlemezrel vesszük körül. A gömbalakú kondenzátor előnye, hogy a központjában elhelyezett sugárzó anyagnak összes sugarai érvényre jutnak, minden irányban haladó sugarai azon átmennek, s így a gyengébben sugárzó anyag mérésére is alkalmas.

A rádióaktív sugarak okozta, tehát az ilyen vizsgálatoknál mértáram, rendkívül kicsiny. Éppen azért az ilyen mérésekre szánt eszközök, különösen az elektrométerrel kapcsolt részek *szigetelésének lehetőleg tökéletesnek kell lennie*. Legjobb szigetelő anyagnak bizonyult a borostyánkő. Rövid ideig használt készülékeknél jó szolgálatot tesz az átolvasztott kén is; hosszabb vizsgálatokra szánt készülékeknél azonban nem használható, mert idővel megváltozik, s akkor már nem jól szigetel. A készülékek mellékreszeit, rendszerint ebonittal szigeteljük.

Egyrészt, mivel a levegőben, mint azt számtalan kísérlet bizonyítja, kis mennyiségben bár, de mindig találunk rádióaktív anyagokat, másrészt, mivel még a legjobb dielektrikum szigetelőképessége is véges, minden mérés előtt meg kell határoznunk a levegő, illetve a készülék saját vezetőképességét, s ezt az adatot, a tulajdonképpeni mérésnél nyert adatból, le kell vonnunk.

Végül meg kell említenünk, hogy pontos méréseknél a levegő elektromossága is zavaró lehet, ezért ilyen esetekben, úgy a kondenzátorokat, mint az elektrométert, valamint a kondenzátort az elektrométerrel összekötő vezetékét, földdel összekötött fémburokkal vesszük körül.

A rádióaktív jelenségek elméleti magyarázata.

Mikor Becquerel, 1896-ban az uránium vegyületeinek sugárzását fölfedezte, természetszerűleg fölmerült az a kérdés is, hogy mi okozza e jelenségeket, illetve, hogy mi, az okul szolgáló energia forrása. Miután az urániumkáliumszulfát, vagyis az a vegyület, amelyen Becquerel e jelenségeket fölfedezte, világító tehetséggel bír, közelfekvő volt a gondolat, hogy a világítást és a rádióaktív jelenségeket egy és ugyanazon ok idézi elő.

Ilyen gyenge világítást okoznak a Crookes-féle csövekben keletkező különböző sugarak (és mint újabban tudjuk, az ezekhez hasonló rádióaktív sugarak is). Gyenge világítást észlelünk bizonyos körülmények között hőhatásra és néha chemiai átalakulásoknál, például a foszfor lassú oxidációjánál. Kékes, sárgás vagy zöldes fénnyel világítanak egyes anyagok, ha azokat előzetesen a nap vagy erősebb mesterséges fény hatásának teszzük ki, és pedig annál erősebben és annál tartósabban, minél erősebb és tartósabb fényhatásnak voltak kitéve. Ez anyagok közzé tartozik az urániumkáliumszulfát is. Ez anyagok tehát a fény energiáját valamiképpen felhalmozzák, akkumulálják, majd más alakban, mint gyenge fényt, ismét kibocsátják.

A rádióaktív jelenségeket magyarázó első föltevés szintén az volt, hogy a rádióaktív anyagok a napfény energiáját alakítják át, s ez átalakított energia volna az, amely a Becquerel fölfedezte jelenségeket okozza.

E föltevésnek azonban, már Becquerel első kísérletei is ellentmondottak. Ugyanis Becquerel kísérleteiből kitűnik, hogy e jelenségek nemcsak a világítóképesseggel bíró urániumkáliumszulfáton, de, kivétel nélkül, az összes urániumvegyületekben észlelhetők, és hogy azok intenzitása nem változik, akár kitették a napfény hatásának, akár a napfénytől óva, hosszabb ideig sötétben tartották, de nem változik még akkor sem, ha e vegyületek erősebb ívfény, elektromos szikra, vagy ibolyántúli sugarak hatásának vetették alá. Ezek ellenére is, sokáig tartotta magát az a nézet, hogy a rádióaktív anyagok, a nap sugarai egy részének energiáját alakítják át, és a fönfemlített ellentmondás kiküszöbölésére föl-

tételezték, hogy a nap sugaraiban is, az x-sugarakhoz hasonló, nagy áthatolóképességű sugarak volnának, ezeket abszorbeálnák, illetve alakítanák át a rádióaktív anyagok.

Más föltevés szerint, a rádióaktív anyagok a környezet mozgási energiáját fognák föl, és alakítanák át. E föltevésnek ellentmondott Curie tapasztalata, hogy a rádium vegyületei mindig melegebbek, mint a környezetük. Ez a rádium termelte meleg meglehetősen nagy, mint a később végzett kísérletek mutatják, egy gramm rádium óránként, kerek számban kifejezve, 135 gramm kalória melegét termel.

E föltevéseket, melyek a rádióaktív anyagok termelte energia forrását, a rádióaktív anyagokon kívül keresték, támogatta, hogy a rádióaktív elemeknek nemcsak egyes, hanem kivétel nélkül összes vegyületei sugárzótehetséggel bírnak és, hogy a sugárzás intenzitása arányos, a rádióaktív elemnek, a különböző vegyületekben talált *elemi* mennyiségével, továbbá, hogy a sugárzást nem befolyásolja, ha a sugárzó anyagot legerősebb kémiai hatásoknak vetjük alá, ha azt az elektromos ív hőmérsékletére hevítjük, vagy akár a cseppfolyós levegő hőmérsékletére hűtjük le, tehát a sugárzaskor felszabaduló energia oka, valamely közönséges kémiai reakcióban nem kereshető.

Két évvel Becquerel fölfedezése után, 1898-ban, Curiené, és tőle függetlenül Schmidt, különböző anyagokat vizsgálva azt találták, hogy a thorium vegyületei, az urániumvegyületekhez hasonló tulajdonsággal bírnak. Ugyanazon évben Curiené, az urániumszurokérczben két új rádióaktív anyagot talált, amelyek egyikét *rádium*-nak, a másikat szülőföldjéről, *polonium*-nak nevezte. 1899-ben Debierne, ugyancsak az urániumszurokérczben újabb rádióaktív anyagot talált, amelyet *aktinium*-nak nevezett el. 1899-ben közölték, Curie és Curiené azon tapasztalatukat, hogy a rádiumvegyületekkel érintkező legkülömbözőbb anyagok is időleges sugárzóképeséget nyernek, és hogy ezt a képeséget akkor is elnyerik, ha nem érintkeznek közvetlenül a rádium vegyületével, elegendő, ha e testeket hosszabb ideig, valamely rádiumvegyület közelében tartjuk. Curie és Curiené, az így nyert időleges sugárzótehetséget, *indukált aktivitás*-nak nevezte. 1900-ban tapasztalta Rutherford, hogy a thorium vegyületei fölött elvezetett levegő is, igen rövid életű időleges aktivitást nyer, és hogy az ilyen levegővel érintkező testek mind, időlegesen aktívekké lesznek. Rutherford e rádióaktív gázt *emanáció*-nak nevezte. Nem sokkal utóbb közölte Curie, hogy a rádium, Debierne pedig, hogy az aktinium vegyületeiből is keletkezik emanáció és hogy az ezekkel érintkező testek mind, időleges sugárzótehetséget nyernek. Ugyanez évben tapasztalta Crookes, hogy, ha az uránium vegyületeinek vizes oldatához annyi ammóniumkarbonátot ad, hogy a kezdetben kiválott csapadék újból föloldódjék, úgy e művelet folytán, a ki-

válott csapadék igen kis része oldatlanul marad vissza. Ez oldatlanul maradt rész, fényérzékeny lemezen vizsgálva, sokkal aktívebbnek bizonyul, mint az eredeti urániumvegyület; míg az ily módon megtisztított urániumvegyületek ugyanúgy vizsgálva, majd teljesen inaktíveknek mutatkoznak. Crookes az így nyert aktív csapadékot uránium- X -nek nevezte el.

Crookes kísérleteit többen megismételték, és teljesen ellentétes eredményt közöltek. Ugyanis azok, akik e kísérleteket megismételve a kapott anyagok aktivítását fényérzékeny lemezzel vizsgálták, Crookes állításait megerősítették, s azt állították, hogy maga az uránium teljesen inaktív volna, aktivítását egyedül a hozzá keveredett uránium X -nek köszöni. Ezzel szemben azok a kísérletezők, akik a sugárzótehetség megállapítására az elektromos módszereket használták, azt állították, hogy az urániumvegyületek sugárzótehetsége, a Crookes leirta eljárások végrehajtása után alig változik meg, és hogy az ammóniumkárbónátban oldatlan rész, csak igen gyenge sugárzótehetséget mutat. Csak később derült ki, hogy az uránium maga csak α -, az uránium X pedig β -sugarakat lövell ki. Az α -sugarak ionizálótéhsége, mint tudjuk, a β -sugarak ionizálótéhségét sokszorosan felülmulja, míg a fényérzékeny lemezt a β -sugarak támadják meg erősebben. Ezenkívül az α -sugarakat már igen vékony papiroslemez is könnyen visszatartja, s így hatásuk a fekete papirosba csavart, és sokszor csillámlemezzel is lefödött fényérzékeny lemezen nem érvényesülhetett. Ugyancsak ellentmondásokra adott okot az a tapasztalat is, hogy az uránium X aktivításából idővel veszített. Nem-sokára azonban megállapították, hogy az uránium X az urániumból állandóan keletkezik, és amilyen arányban veszíti az urániumtól elválasztott uránium X aktivítását, ugyanolyan arányban nyeri vissza, az uránium X -től megtisztított urániumvegyület, eredeti β -aktivitását és, hogy az uránium X -től megtisztított urániumvegyületekből, bizonyos idő eltelte után újabb mennyiségű uránium X -et választhatunk le.

1902-ben jelent meg Rutherford és Soddynek, a thoriummal végzett kísérleteinek összefoglaló dolgozata, melyben közlik, hogy az ammóniával leválasztott thoriumhidroxidról leszűrt oldat bepárolgatása és a kikristályosodott ammóniumsók elűzése után visszamaradt kevés anyag sugárzótehetsége több mint ezerszer akkora, mint ugyanazon súlymennyiségű eredeti thoriumvegyületé. Ezen anyagot thorium X -nek nevezték. A thorium X aránylag gyorsan bomlik. A bomlás gyorsaságát exponenciális egyenlet fejezi ki. A thorium-emanáció, közvetlenül a thorium X -ből keletkezik és ebből újabb szilárd rádióaktív anyag, *rádióaktív lerakódás*, keletkezik, amely, a Curiék-től indukálnak nevezett rádióaktivitásnak oka. E jelenség magyarázatára Rutherford és Soddy, az úgynevezett dezintegrációs elméletet állították föl, amelynek lényege, *hogy a rádióaktív elemek atomjai állandó bomlásban vannak s e bomlásnak következménye*

a sugárzás. A rádióaktív anyagok bomlási sebessége, exponenciális egyenlettel fejezhető ki, ugyanazzal az egyenlettel, melyet Ostwald, a monomolekuláris reakciók tanulmányozásakor vezetett le.

Ez az elmélet az egyedüli, melylyel ma a rádióaktív jelenségeket magyarázni lehet és rendkívül termékenynek bizonyult, mert segítségével nemcsak magyarázni tudjuk az összes eddig ismert jelenségeket, de jórészt ennek köszönhetjük azt az óriási haladást, amelyet ismereteink e téren, aránylag rövid idő alatt megtettek.

Rutherford és Soddy elmélete, elsősorban is megdöntötte azon felfogást, amely szerint állandóan — és időlegesen — (indukált) rádióaktív anyagokat különböztetünk meg. Rutherford és Soddy elmélete alapján, minden rádióaktív elemi anyag bomlik, a különbség csak az, hogy egyes rádióaktív anyagoknak, mint az urániumnak, rádiumnak, thoriumnak stb. bomlása oly lassú, hogy közvetlenül nem figyelhetjük meg, de mint látni fogjuk, közvetett úton ezek bomlási sebességét is kiszámíthatjuk. E hosszúéletű rádióaktív anyagokkal szemben, találunk olyanokat, amelyek rendkívül gyorsan bomlanak és olyanokat, amelyek, rövid ideig vizsgálva állandóknak látszanak, de amelyekben, hosszabb idei megfigyelés után, a változás megállapítható.

Rövidéletű rádióaktív anyagok az úgynevezett emanációk. Háromféle rádióaktív-emanációt ismerünk. A rádium-, a thorium- és az aktinium-emanációt. Az emanációk gázalakú rádióaktív anyagok, melyek közül az első a rádiumból, a másik kettő a thorium, illetve az aktinium-X-ből keletkezik. Az emanációkat anyaelemüktől nagyon könnyű elválasztani. Ha az emanációt termelő rádióaktív anyag vizes oldatán keresztül levegőt buborékoltatunk, a levegő a gázalakú emanációt magával ragadja. Rendszerint az emanációnak, sok levegővel elkevert, nagyon kis mennyiségét kapjuk, úgy hogy annak jelenlétét, csak annak rádióaktív sajátosságai alapján tudjuk megállapítani. Az emanációk önálló gázalakú anyag voltát bizonyítja, hogy megsűríthetők, hogy határozott forrásponttal bírnak. Megállapították diffúziójuk sebességét és azt is, hogy kémiai jellemük alapján, az argoncsoportba tartozó gázok.

Az emanációk bomlási termékeit rádióaktív lerakódásnak nevezzük, de így nevezzük, a rádióaktív lerakódásból keletkezett újabb rádióaktív anyagokat is. Ugyanis, a rádióaktív lerakódás gyűjtőnévvel elnevezett anyagok rendszerint igen rövidéletűek és bomlási termékük újabb rádióaktív anyag, úgy hogy az emanációból keletkezett rádióaktív lerakódás nem homogén, hanem a különböző rövidéletű rádióaktív anyagok keveréke. Ezek közül az egyeseket, az egymásból keletkezés sorrendjében A, B, C jellel látjuk el. Például, a rádium-emanációból keletkező rádióaktívierakódás egyes alkotórészeit rádium A, rádium B, rádium C stb.-nek nevezzük. A thorium- és aktinium-emanációból

keletkező rádióaktív termékeket, hasonló elv szerint nevezik el. Régebben, a rádióaktív lerakódás okozta aktivitást nevezték indukált aktivitásnak.

Miként az emanációk, úgy, a rádióaktív lerakódások elválasztása is könnyű. Ha az oldatából kiűzött emanációt zárt edényben tartjuk, úgy a belőle keletkező rádióaktív lerakódás, az edény oldalára rakódik. A rádióaktív lerakódás, keletkezésekor pozitív elektromos töltéssel bír. Ezért, ha az edénynek, melybe az emanációt vezettük, pozitív töltést adunk és ebbe elszigetelt fémrudat helyezünk, amelyeknek negatív töltést adunk, úgy, ha a potenciálkülönbségek elég nagyok, az egész rádióaktív lerakódás a fémrúdra rakódik le. Ily módon a rádióaktív lerakódás, aránylag kis felületre sűrűsödik össze.

A rádióaktív lerakódás csak láthatatlan kis mennyiségben keletkezik. Annak jelenlétét, csak rádióaktív sajátágaiból állapíthatjuk meg. Hogy ez esetben a sugárzást, a végtelen kis mennyiségben jelenlévő, szilárd rádióaktív anyagok okozzák, bizonyítja, hogy az ilyen bevont fém, ledörzsöléssel sugárzó tehetségét elveszíti és a sugárzó anyag, a ledörzsölésre használt testre tapadt rá. Hasonlóképpen elveszítik aktivitásukat, a rádióaktív lerakódással bevont anyagok, ha azokat, híg savakba mártjuk. Ha az ilyen savat elpárologtatjuk, úgy az elpárologtatató edény lesz aktív, jelétül annak, hogy a rádióaktív lerakódás a savban oldódott. Ha az ilyen savat elektrolizáljuk, úgy ebből a rádióaktív lerakódás a katódra csapódik le. Különböző potenciálkülönbségekkel végzett elektrolizissal, a lerakódások egyes alkotórészeit külön-külön leválaszthatjuk. Ha a rádióaktív lerakódást fémhuzalra csapatjuk le, majd a fémhuzalt elektromos árammal hevítjük, úgy arról a rádióaktív lerakódás elszublimál. Ha a fémhuzalt fokozatosan hevítjük magasabbra, úgy a rádióaktív lerakódások egyes alkotórészei, külön-külön szublimálhatók.

A rádióaktív lerakódásokhoz hasonlóak, az uranium X , thorium X , aktinium X , a mezothorium, rádióthorium, valamint a rádióaktiniumnak nevezett anyagok. Ezek is, miként a rádióaktív lerakódások, szilárdak. Ezek az előbbiektől abban különböznek, hogy míg amazok legtöbbje igen rövid életű, ezeknek legtöbbje már hosszabb életű, de a főkülönbség közöttük az, hogy míg amazok az emanációkból keletkeznek, s így az anyaelemeiktől könnyen elválaszthatók, ezek szilárd anyaelemből képződnek, s azoktól csakis kémiai eljárásokkal választhatók el.

A rádióaktív anyagok tehát, ez elmélet szerint, állandó bomlást, illetve átalakulást szenvednek. Ezen bomlás, minden külső behatás nélkül, az atómon belül, önönmagában megy végbe, ezt sem elősegíteni, sem gátolni nem tudjuk. E bomlás következménye a sugárzás. Egyes rádióaktív anyagok csak α -, mások β - és γ -sugarakat lövellnek ki és viszont találunk olyanokat is, amelyek átalakulása sugárzás nélkül megy végbe, illetve, mint azt már több esetben megállapították, azt oly gyenge

β -sugárzás kíséri, amely csak nehezen mutatható ki. A rádióaktív anyagok átalakulási terméke, rendszerint ismét rádióaktív. Csak kevés esetet ismerünk, amelynél az átalakulási termék inaktív, vagy olyan lassan bomló rádióaktív anyag, hogy annak bomlását megállapítani nem tudjuk.

Minden rádióaktív anyag átalakulása bizonyos sebességgel történik. Az átalakulás sebességét, az alábbi egyenlet fejezi ki:

$$I_t = I_0 e^{-\lambda t}$$

ahol I_0 a rádióaktív anyagnak, a mérés kezdetén meglévő mennyiségét, illetve, miután a rádióaktív anyag sugárzásának intenzitása arányos a jelenlévő anyag mennyiségével és a sugárzás intenzitását leginkább a telítési árammal mérjük, I_0 az észlelés kezdetén mért áramot, I_t a rádióaktív anyagnak t idő múlva talált mennyiségét, illetve a t idő múlva talált áramot, e a természetes logaritmusok alapszámát (2.71828), t az első és a következő mérés között lefolyt időt, végül λ a bomlási együtthatót jelenti.

A bomlási együtthatónak azt a számot nevezzük, amely kifejezi, hogy az idő egysége alatt, a kérdéses rádióaktív anyag egységnyi mennyiségének hányadrésze bomlik el. Pl. a rádium-emanáció bomlási együtthatója $\lambda = 2.085 \times 10^{-6} \text{ sec}^{-1}$. Ez tehát azt jelenti, hogy a rádium-emanáció egy grammjából, másodpercenként, 0.000002085 gramm, vagy pedig 1000,000,000 atom közül, 2085 atom bomlik el. A különböző rádióaktív anyagok bomlási együtthatója aszerint, amint az egyik gyorsabban, a másik lassabban alakul át, egymástól nagymértékben különbözik. Egy és ugyanazon rádióaktív anyag bomlási együtthatóját is különböző számokkal fejezhetjük ki, aszerint, amint az idő egységeül milyen időmértéket választunk. Az idő egységeül e méréseknél is, miként azt a fizikai méréseknél rendszerint tesszük, a másodpercet vesszük, de lassabban bomló rádióaktív anyagoknál az idő egységeül gyakran az órát, a napot vagy az évet használjuk és ezt λ számértékének közlésekor, a számérték mellett megjegyezzük. Így például a rádium-emanáció bomlási együtthatója:

$$\begin{aligned} \lambda &= 2.085 \times 10^{-6} \text{ sec}^{-1} \text{ vagy} \\ \lambda &= 0.00751 \text{ óra}^{-1} \end{aligned}$$

A fenti egyenletből

$$\lambda = \frac{\log. \text{nat. } \frac{I_t}{I_0}}{t} = \frac{\log \frac{I_t}{I_0}}{0.4343 t}.$$

λ értékének meghatározása eszerint, oly módon történik, hogy a vizsgálandó anyagot a mérőkészülékbe teszszük s meghatározzuk, a sugárzása okozta telítési áramot. Ez az érték lesz I_0 . Majd, egy idő

mulva, aszerint, amint a meghatározandó anyag hosszabb vagy rövidebb életű, néhány percz, óra, nap, esetleg hónap mulva újra meghatározzuk, az ugyanazon berendezés mellett észlelt áramot. Az utóbb kapott adatot az előbbivel törve, a kapott hányados logaritmusát a két mérés között lefolyt idővel és 0.4343 -mal osztva, az eredmény λ számértékét adja.

A bomlási együtthatót ily egyszerű módon meghatározni csak az esetben lehet, ha a vizsgálandó anyag bomlási terméke nem rádióaktív. Mint például a *polonium*-nál, amelynek bomlási terméke, az eddigi ismereteink szerint inaktív. Ilyen esetet azonban keveset ismerünk. A legtöbb esetben a rádióaktív anyag bomlási terméke szintén rádióaktív, ez új rádióaktív anyag sugárzása is vezetővé teszi a levegőt, ami a fönti egyszerű képlet alkalmazását gyakran lehetetlenné teszi. Ez esetben, a sugárzás intenzitásának változását, hosszabb kísérletsorozattal, lehetőleg sok megfigyeléssel észlelhetjük; ezenkívül, amennyire lehetséges, elválasztjuk egymástól az egyes bomlási termékeket, azok sugárzásának változását szintén megfigyeljük és ez adatokat egybevetve, számítjuk ki az egyes termékek bomlási együtthatóját. Néha azonban ily esetekben is megvan az eshetősége annak, hogy ez egyszerű képletet használhatjuk. Így pl., ha valamely, aránylag gyorsan bomló rádióaktív anyagnak bomlási terméke rendkívül hosszúéletű. Ilyenkor ugyanis az újonnan keletkezett rádióaktív anyag sugárzásának intenzitása, az anyatest sugárzásához képest elenyészően kicsiny, úgy hogy az, a mérési hibák határain alul marad s a számítást nem befolyásolja. Ez az eset áll fenn az uránium X -nél. Ugyanis az uránium X -nek (eltekintve az igen rövidéletű uránium X_1 -től) közvetlen bomlási termékét nem ismerjük, illetve azt, hogy az uránium X -ből újabb rádióaktív test keletkezik, kísérletileg még nem sikerült megállapítani, bár minden valószínűség a mellett szól, hogy ez igen hosszú életkorú rádióaktív anyag. Az uránium X tehát úgy viselkedik, mintha bomlási terméke inaktív volna, s így a bomlási együtthatóját ugyanúgy határozhatjuk meg és számíthatjuk ki, mint azt a poloniumnál tesszük. Ugyancsak a fönt leírt, egyszerű úton állapíthatjuk meg, valamely rádióaktív anyag bomlási együtthatóját az esetben is, ha az β - és γ -sugarakat lövell ki és bomlási termékei α -, esetleg csendes β -sugárzás közben alakulnak át. Ez esetben a vizsgálandó anyagot az α - és β -sugarakat elnyelő üveg- vagy fémtokba zárjuk s így csak a β - és γ -sugárzás változását figyeljük meg. Ugyanezen eljárást használhatjuk az esetben is, ha a vizsgálandó anyag α -sugarakat lövell ki, de ez aránylag hosszúéletű és ennek rövidéletű β - és γ -sugárzó bomlási terméke van. Ez eljárást használta Curiené, az α -sugárzó rádium-emanáció bomlási együtthatójának megállapításánál. Ugyanis a rádium-emanáció közvetlen bomlási terméke a rádium A , ebből keletkezik a

rádium *B* és emebből a rádium *C*. E három anyag meglehetősen rövid-életű és ezek közül az utóbbi β - és γ -sugarakat lövell ki.

Ha a rádium-emanációt üvegedénybe zárjuk és az üvegedényen átjutó sugarak változását figyeljük, úgy közvetlenül az emanációnak az üvegedénybe zárása után, ilyen sugarakat csak rövid idő multán észlelünk. A γ -sugárzás intenzitása körülbelül három óráig növekedik, majd körülbelül öt óra múlva, a rádium-emanáció bomlási sebességével arányosan csökkenni kezd.

E jelenségnek oka, hogy a rádium-emanáció bomlási termékei szintén rádióaktívek, tehát amint keletkeznek, rögtön el is bomlanak, miközben azonban, ez anyagok újabb részlete keletkezik s így mennyiségük egyideig nő. E növekedés azonban nem végnélküli, csak addig tart, amíg az időközben összegyűlt rádióaktív anyagoknak, az idő egysege alatt elbomló része ugyanannyi lesz, mint az ugyanannyi idő alatt keletkező mennyisége, vagyis amíg a rádium-emanáció, bomlási termékeivel egyensúlyba nem jut. Ilyenkor éri el a sugárzás a maximumát. De a rádium-emanáció maga is bomlik, mennyisége folytonosan kisebbedik s így a belőle keletkezett bomlási termékek mennyisége is kisebb lesz. Mivel azonban a rádium-emanáció sokkal hosszabb életű, mint a belőle keletkezett bomlási termékek, zárt edényben a rádium-emanáció és bomlási termékei közti egyensúly, attól a pillanattól kezdve, amelyben az beállott, mindaddig, míg a rádium-emanáció tökéletesen el nem bomlik, állandóan megmarad, vagyis az egyensúly beállta után a rádium-emanáció bomlási termékeinek mennyisége, a rádium-emanáció mennyiségével arányosan fogy. Eszerint, ha az egyensúlyi állapot beállta után, a γ -sugárzás változását mérjük, úgy az, a rádium-emanáció bomlási sebességével lesz arányos. E körülményt használta föl Curiené, a rádium-emanáció bomlási együtthatójának megállapítására.

Curiené, a rádium-emanációt, beforrasztott üvegcsőbe zárta. Az emanációt tartalmazó üvegcsövet két kondenzátor lemez közé helyezte s az egyensúly beállta után, nagyobb pontosság kedvéért, hosszabb kísérlet sorozatban, a γ -sugárzás változását figyelte meg.

Egyes rádióaktív anyagoknak bomlási sebessége olyan nagy, hogy azok bomlási együtthatóját, a leírt módon meghatározni nem lehet. Ez esetekben, csak különös fogásokkal érhetünk célzt. Ilyen, szellemesen kigondolt eljárással, majd a *thorium A* és *aktinium A* leírásánál ismerkedünk meg.

Más esetekben viszont, a rádióaktív anyag oly hosszúéletű, hogy azok bomlási sebességét közvetlenül nem figyelhetjük meg. Ilyen hosszúéletű rádióaktív anyag a *thorium*, az *uránium* és a *rádium*. Úgy az *uránium*nak, mint a *thorium*nak, valamint a *rádium*nak bomlási sebessége olyan lassú, hogy azok sugárzásának változását közvetlenül nem

észlelhetjük, de ennek a kiszámítására fölhasználhatjuk azt, hogy e rádióaktív anyagok bomlási termékei szintén rádióaktívek. Később látni fogjuk, hogy valamely rádióaktív anyag és bomlási termékének bomlási együtthatója és a két test viszonyos mennyisége között, akkor, amikor ezek egymással egyensúlyban vannak, törvényszerű összefüggés van és e törvényszerű összefüggésből, ismerve az egyensúlyban lévő testek egyikének bomlási együtthatóját, a másik test bomlási együtthatóját kiszámíthatjuk.

Végül megemlítendő még, hogy a különböző rádióaktív anyagok α -sugarainak hatótávolságát vizsgálva, azt tapasztaljuk, hogy a hosszabb életű rádióaktív anyagok α -sugarainak hatótávolsága kisebb, mint a rövidebb életűeké. Geiger és Nuttal, koordináta-rendszer egyik tengelyére az uránium és α -sugárzó bomlási termékei vagy az aktinium és hasonlóan α -sugárzó bomlási termékei bomlási együtthatójának logaritmusát, a másik tengely irányában az α -sugarak hatótávolságának logaritmusát mérték és azt tapasztalták, hogy az így nyert pontokat egyenes vonal köti össze. Geiger és Nuttal észlelte törvényszerűséget, szintén fölhasználhatjuk, ha azt más módon megállapítani nem tudjuk, a bomlási együttható kiszámítására; ez értékek azonban csak közelítőek s csak fenntartással fogadhatók el.

A bomlási együttható, a rádióaktív anyagok legfontosabb állandója. E számérték ismerete, rádióaktív műveleteknél, illetve az ezekkel kapcsolatban végzett számításoknál, nélkülözhetlen, de ez inkább elméleti értékű s rádióaktív anyag viselkedéséről nem ad könnyen érthető felvilágosítást. Sokkal könnyebben megjegyezhető és sokkal áttekinthetőbb képet ad, annak az időnek ismerete, amely alatt, valamely rádióaktív anyag, megfigyelés alatt álló mennyiségének fele elbomlik. Ezen értéket *bomlási félidőnek* nevezzük és T -vel jelöljük. *Bomlási vagy átalakulási félidőnek azon időt nevezzük, amely alatt, valamely rádióaktív anyag, mindenkor meglévő mennyiségének fele elbomlik.* Például: A rádium-emanáció bomlási félideje $T=3.85$ nap. Ezt azt jelenti, hogy edénybe zárt és rádiumtól elválasztott rádium-emanáció adott mennyiségének, 3.85 nap múlva csak a fele maradt, a többi elbomlott. A következő 3.85 nap múlva, ismét ennek fele bomlik el, tehát az eredetileg volt mennyiségnek csak egy negyede, az erre következő 3.85 nap múlva a nyolczada lesz már csak meg s a bomlás ebben az arányban halad.

A bomlási félidőt éppen úgy, mint λ értéket, kísérletileg állapíthatjuk meg, de ha λ értékét ismerjük, úgy belőle könnyen kiszámíthatjuk. Ugyanis

$$\log \frac{I_t}{I_0} = 0.4343 \lambda t; \text{ de } t = T \text{ akkor lesz, ha } \frac{I_t}{I_0} = \frac{1}{2} \text{ tehát}$$

$$\log \frac{1}{2} = \log 0.5 = 0.4343 \lambda T; \text{ ebből}$$

$$T = \frac{\log 0.5}{0.4343 \lambda} = \frac{0.6932}{\lambda} \text{ vagy}$$

$$T = 0.6932 \left(\frac{1}{\lambda} \right)$$

Az adott egyenletben $\left(\frac{1}{\lambda} \right)$ értéket külön kiemeltük azért, mert $\left(\frac{1}{\lambda} \right)$ értéknek külön fizikai jelentése is van, ezért ezt Θ -val is jelezzük s a rádióaktív anyagok átlagos életkorának mondjuk. Tehát

$$\frac{1}{\lambda} = \Theta$$

A rádióaktív anyagok, mint tudjuk, állandóan bomlanak. Valamely rádióaktív anyag atómjai közül egyesek, alig, hogy keletkeztek, máris elbomlanak, míg mások végtelen hosszú ideig élnek. Egy és ugyanazon rádióaktív anyag atómjai tehát a legkülömbözőbb életkorúak, és ezek átlagos értékét, vagyis átlagos életkorát adja meg $\frac{1}{\lambda}$ vagy Θ értéke. Így például a rádium bomlási együtthatója

$$\lambda = 4 \times 10^{-4} \text{ év}^{-1}$$

ennélfogva átlagos életkora

$$\Theta = \frac{1}{0.0004} = 2500 \text{ év}$$

Ez a szám épp úgy, mint a bomlási együttható, elméleti értékű, de igen alkalmas gyakorlati számítások végzésére. Így például, ismerve egy gramm rádium óránkénti hőfejlesztőképességét, annak átlagos életkora alapján kiszámíthatjuk, hogy mekkora energiamennyiség válik szabaddá, miközben egy gramm rádium teljesen elbomlik. Ugyanis egy gramm rádium óránként, mint azt kísérletileg megállapították, kerek számban 135 gramm kalória meleget fejleszt. De a rádium eközben bomlik, mennyisége folytonosan fogy, s így az óránként fejlesztett meleg is kevesebb lesz. Körülbelül 1800 év múltán, az egy gramm rádium felére fogyott s ennek ugyancsak féllakkora lesz a hőfejlesztőképessége is. A rádium eközben tovább bomlik s tulajdonképpen végtelen ideig tart, míg annak utolsó részlete is elfogy. De a rádium átlagos életkora 2500 év; ami azt jelenti, hogy ha a rádium-atómok működésüket, tehát hőfejlesztőképességüket egyenletesen, mind egyenlő hosszú ideig fejtenék ki s azután egyszerre szüntenék meg, úgy ez 2500 év múltán következne be. Vagyis ez esetben, egy gramm rádium 2500 évig fejlesztene egyenletesen, óránként 135 kalória meleget s ez a melegfejlesztő tehetség, 2500 év múlva, egyszerre szünnék meg. Eszerint, miután egy évben

8760, 2500 évben 21.900,000 óra van s a rádium egy grammja óránként 135 kalória meleget fejleszt, teljes elbomlásáig összesen 2956 millió, kerek számban három milliárd grammkalóriányi meleg szabadul föl.

Mint fentebb említettük:

$$\Theta = \frac{1}{\lambda}, \text{ és}$$

$$T = 0.6932 \frac{1}{\lambda}, \text{ tehát}$$

$$\Theta = \frac{T}{0.6932}; \text{ vagy}$$

$$\Theta = 1.443 T;$$

vagyis valamely rádióaktív anyag átlagos életkorát könnyen kiszámíthatjuk, ha a könnyebben megjegyezhető bomlási félidőt (T) 1.443-mal megszorozzuk. Így például, a rádium-emanáció bomlási félideje

$$T = 3.85 \text{ nap},$$

tehát átlagos életkora

$$\Theta = 3.85 \times 1.443 = 5.56 \text{ nap}.$$

A rádióaktív anyagok, mint említettük, Rutherford és Soddy elmélete szerint, állandó bomlásban vannak, és bomlási termékeik, rendszerint ismét rádióaktívek. Valamely újonnan előállított, illetve megtisztított rádióaktív anyag, amint előállítottuk, rögtön bomlani kezd, s belőle új rádióaktív anyagok keletkeznek. Ezek az új rádióaktív anyagok, ha úgy az eredeti, mint az abból keletkezett testek szilárdak, az eredeti rádióaktív test társaságában maradnak. Ez történik az esetben is, ha ez anyagok egyike gázalakú, de a folyamat, zárt téren megy végbe.

Ha Q_1 -el jelöljük az eredeti rádióaktív anyag mennyiségét és λ_1 -el bomlási együtthatóját, úgy $Q_1 \lambda_1$ lesz annak az a mennyisége, amely belőle, az idő egysége alatt elbomlik, s ez lesz egyúttal az újabb rádióaktív anyagnak, az idő egysége alatt keletkezett mennyisége is.¹ Ez azonban maga is rögtön bomlani kezd, de mivel ez új rádióaktív anyagnak is csak tört része bomlik el és közben annak újabb mennyisége keletkezik, az egy ideig szaporodni fog. A szaporodás azonban nem folytatódik a végtelenségig, csak addig, amíg az új rádióaktív anyagból annyi halmozódik föl, hogy annak, az idő egysége alatt elbomló mennyisége akkora lesz, amennyi ugyanazon idő alatt keletke-

¹ Ha a bomlás α -sugárzás közben történik, úgy a rádióaktív atom átalakulását, egy atom hélium kiválása kíséri, tehát az újonnan keletkezett anyagnak mennyisége valamivel (a kiváltott héliummal) kevesebb, mint az elbomlott mennyiség, de tekintve, hogy a rádióaktív elemek igen nagy atómsúlyához képest, a hélium atómsúlya kicsiny, a különbséget, a számítás egyszerűsége kedvéért elhanyagolhatjuk.

zik, vagyis az egyensúly beálltáig. Eszerint, ha Q_2 , az új test egyensúlyban lévő mennyiségét és λ_2 annak bomlási együtthatóját jelenti, úgy:

$$Q_1 \lambda_1 = Q_2 \lambda_2,$$

vagyis *egyensúly esetén, az eredeti és a belőle keletkezett új rádióaktív anyag mennyisége, fordítva arányos a két anyag bomlási együtthatójával.* De az új rádióaktív anyagból, rendszerint ismét rádióaktív anyag keletkezik, amely ez alapanyaggal szintén egyensúlyba kerül, amikor

$$Q_2 \lambda_2 = Q_3 \lambda_3$$

és ez folytatódik mindaddig, amíg inaktív vagy annak gondolt végtermék a sorozatot bezárja. Tehát

$$Q_1 \lambda_1 = Q_2 \lambda_2 = Q_3 \lambda_3 = \dots Q_n \lambda_n \dots$$

vagyis a fent elmondottakat általánosítva

$$Q_1 \lambda_1 = Q_n \lambda_n$$

azaz: *Egyensúly esetén az egymásból keletkezett rádióaktív anyagok sorozatában, bármely két tagnak viszonyos mennyisége, fordítva arányos azok bomlási együtthatójával, függetlenül attól, hogy az utóbb következő tag közvetlenül az előbbiből keletkezik vagy azok közé, még más rádióaktív anyagok ékelődnek.* De:

$$\lambda = \frac{1}{\Theta}$$

tehát

$$\frac{Q_1}{\Theta_1} = \frac{Q_n}{\Theta_n}; \text{ eszerint:}$$

Egyensúly esetén, az egymásból (közvetve vagy közvetlenül) keletkezett rádióaktív anyagok *viszonyos mennyisége* (egyenesen) *arányos, ez anyagok átlagos életkorával.*

A fönti törvényszerűség ismerete, gyakorlati szempontból is fontos, amennyiben ez több olyan kérdésre ad felvilágosítást, amelyekre enélkül, feleletet adni nem tudnánk. Így például, ha ismerjük két egymással egyensúlyban lévő rádióaktív anyag viszonyos mennyiségét és a kettő közül az egyiknek átlagos életkorát, úgy ez adatokból, a fönti törvény segítségével, kiszámíthatjuk a másik anyag átlagos életkorát. A hosszú életkorú rádióaktív anyagok átlagos életkorát, melyet kísérletileg közvetlenül megállapítani nem tudunk, e törvény segítségével kiszámíthatjuk. Az uránium például, mindig rádium társaságában található. Ebből, valamint más, később ismertetendő körülményekből is, azt következtetjük, hogy a rádium közvetve az urániumból keletkezik. Az eddigi vizsgálatok szerint, az urániumszurokérczben és mindazon ásványokban, amelyekről föl lehet tételteni, hogy azokban az uránium és rádium mennyiségei egymással már egyensúlyban vannak, minden 1000 kilogramm urániumra 0.32 gramm rádium esik. A kettő közti viszonzyszám tehát,

$$\frac{1.000.000}{0.32} = 3.125.000. \text{ Azaz, egyensúly esetén, az uránium mennyisége,}$$

a rádium mennyiségének 3.125,000-szorosa. Miután a rádium átlagos életkora 2500 év, az adott törvény alapján, az uránium átlagos életkora $3.125.000 \times 2500 = 7.812.500.000$, kerek számban 8.000.000.000 év lesz.¹ Ez a szám természetszerűleg csak megközelítő értéket jelent. Ugyanis a rádiumnak az urániumra eső mennyiségét, csak megközelítő pontossággal ismerjük. Ha ez a szám, csak kismértékben változik, úgy az ebből számított érték, már lényegesen más lesz. Így például, Becker és Janasch, a *joachimsthal*i urániumszurokérczczel végzett újabb vizsgálataiknál, a rádiumnak, az 1000 kilogramm urániumra eső mennyiségét 0.3415 grammnyinak találták, s ebből, az uránium átlagos életkorát, kerek számban 7.000.000 évesnek számították. A rádium átlagos életkorát, szintén csak közvetett számítás alapján ismerjük és amennyire ez a szám pontatlan, ez a pontatlanság, az urániumnak, ebből számított átlagos életkoránál, fokozottabb mértékben jelentkezik. Ezért, a fönt nyert számérték csak közelítő, tájékoztató adatnak tekinthető. Meg kell még jegyeznünk, hogy az ilyen számítás csak akkor helyes, ha a sorozatban, például a jelen esetben, az uránium-rádiumsorozatban, minden egyes tag az előbbiből, a leirt, egyszerű módon keletkezik, vagyis, ha a sorozat minden egyes tagja, egy α - vagy β -részecske kilövellésével, egész tömegében a következő taggá alakul át. Mihelyt az átalakulás nem ily egyszerű módon történik, ha például, mint azt több esetben föltételezzük, a sorozat egyik tagja (lásd részletes rész *RaC* és *ThC* leírásánál) nem egy, hanem két új rádióaktív anyaggá alakul át, tehát a sorozat ketté szakad, úgy e sorozat két olyan tagjának viszonyos mennyiségét, amelyek egyikének helye a sorozat ketté szakadásának helyén innen, a másik azon túl van, ilyen számításra nem használhatjuk, illetve ez esetben a számítást, megfelelően helyesbíteniünk kell.

¹ A fönti számítást, mint említettük, a könnyebb megérthetőség és a számítás egyszerűsítése kedvéért úgy végeztük, mintha az uránium, rádióaktív átalakulásakor egyszerűen, egész tömegében rádiummá alakulna át. De az uránium α -sugárzás közben alakul át rádiummá, ennél fogva az uránium és rádium atómsúlyai között különbség van. Ezt tekintetbe véve, a fönti számítást pontosabban, az alábbi képlettel végezhetjük:

$$\Theta_{Ur} = \Theta_{Ra} \frac{226}{238} \cdot \frac{Ur}{Ra} \text{ és}$$

$$\lambda_{Ur} = \lambda_{Ra} \frac{238}{226} \cdot \frac{Ra}{Ur}$$

a hol *Ur* az urániumnak, *Ra* a rádiumnak talált mennyiségét, 238 az urániumnak, 226 a rádiumnak atómsúlyát jelenti.

Azon különbséget azonban, amely az itt közölt és a fönt elvégzett számítási mód között adódik, a kísérleti hibákból származó különbségek mellett, bátran elhanyagolhatjuk.

Amint a leirt törvényszerűséget fölhasználhatjuk arra, hogy valamely rádióaktív sorozat két tagjának viszonyos mennyiségéből, azok egyikének átlagos életkorát kiszámítsuk, úgy fordítva, ha ismerjük a két tag átlagos életkorát, ebből kiszámíthatjuk, egyensúly esetén, azok viszonyos mennyiségét. Így például az uránium egyik bomlási terméke az uránium *X*-nek nevezett rádióaktív anyag. Az uránium *X*-et, az urániumtól elválasztani, igen könnyű feladat. Ha valamely urániumsó vizes oldatához, annyi ammóniumkárbonátot adunk, hogy a kezdetben keletkezett csapadék föloldódjék, úgy nagyon kevés, főként az urániumvegyület szennyezéseiből álló csapadék marad vissza s ebben találjuk az uránium *X*-et, amíg az uránium az oldatba kerül. Az uránium *X*-et, rádióaktív viselkedése alapján könnyen fölismerjük, de jóllehet, hogy ily egyszerű módon lehet anyaelemétől elválasztani, még sem sikerült abból olyan mennyiséget elkülöníteni, hogy annak jelenlétét, valamely chemiai módszerrel is megállapíthassuk. Hogy ez miért nem sikerül, arról, a két anyag átlagos életkora közti különbség ad fölvilágosítást. Az uránium *X* átlagos életkora, a fönti számítás szerint 8,000.000,000 év. Az uránium *X* életkorát, közvetlen mérés útján, 35·5 napnak, tehát kerekszámban 0·1 évnek találták. Ebből tehát az következik, hogy egyensúly esetén, tehát akkor, amikor az uránium *X*-ből a legtöbb van jelen, a két anyag mennyisége úgy aránylik egymáshoz, mint 0·1 : 8,000.000,000, vagyis a legjobb esetben is, 800 métermázsa fémurániumra, 1 milligramm uránium *X* esik. E számadat mutatja a legjobban, hogy miért nem állíthatunk elő az uránium *X*-ből és az annál még sokkal rövidebb életű rádióaktív anyagokból oly mennyiséget, hogy azokat, az eddig használatos chemiai eljárásokkal tanulmányozhassuk.

Az uránium és közvetlen átalakulási termékei.

Előfordulása. Az uránium a természetben, színállapotban nem található. Vegyületei is meglehetősen ritkák s többnyire csak kisebb mennyiségben találhatók. A leggyakrabban előforduló urániumásvány az *urániumszurokércz* vagy *uráninit*. Ez többnyire fekete, kagylós törésű tömeg, amely leginkább gránitokban, illetve azok szomszédságában lévő kvarcz, dolomit, csillámpala, vagy más kőzetekben, néhány milliméter, néha egész 30 centiméternyi vastagságú erek, ritkábban vesealakú zárványok alakjában található. Az urániumszurokércz főtömege (60—80%) urániumoxid (U_3O_8), mellette kovasavat, vas- és kalciumoxidot, több vagy kevesebb ólmot és rezet, cinket, mangánt, káliumot, nátriumot, kevés báriumot, bizmutot, tellurt, arzént és ként találunk, továbbá az összes ritka földeket és az eddig ismert rádióaktív elemeket.¹ A bonyo-

¹ Az elősorolt alkotórészek egyike-másika, az egyes urániumszurokérczfélésekben hiányzik, vagy csak oly kis mennyiségben található, hogy azt, az elemzési adatok között nem tüntetik föl. Így Becker és Janasch 1915-ben közölt adatai szerint, a joachimsthalai urániumércznek összetétele:

	I.	II.
U_3O_8 ---	76·41 ^{0/0}	76·82 ^{0/0}
Fe_2O_3 ---	4·15 "	4·00 "
PbO ---	4·67 "	4·63 "
Bi_2O_3 ---	0·63 "	0·67 "
As_2O_5 ---	0·99 "	0·82 "
Sb ---	nyomokban	
ZnO ---	0·08 ^{0/0}	0·22 ^{0/0}
MnO ---	0·13 "	0·04 "
SiO_2 ---	5·57 "	5·07 "
CaO ---	3·03 "	2·45 "
MgO ---	0·13 "	0·19 "
K_2O ---	0·16 "	0·28 "
Na_2O ---	1·21 "	1·19 "
ritka földek ---	0·43 "	0·52 "
H_2O ---	3·25 "	3·25 "
S ---	1·37 "	1·15 "
	<hr/>	<hr/>
S : O ---	102·21 ^{0/0}	101·30 ^{0/0}
	0·68 "	0·57 "
	<hr/>	<hr/>
Összesen ---	101·53 ^{0/0}	100·73 ^{0/0}

Ez adatok között, a százalékban ki nem fejezhető rádióaktív-elemek nincsenek föltüntetve.

lult összetételű urániumszurokérczben, az eddig ismert elemeknek, mintegy harmadát megtaláljuk. Érdekes, hogy az urániumszurokérczet, leginkább régen más érczre művelt és ennek kimerültével föl hagyott bányákban találják. Így, a ma oly híressé vált *joachimsthal*i bányákban, eredetileg (XVI. században) ezüst-, később, a XIX. század elején ólomérczeket fejtettek és csak 1853 óta kezdték az urániumszurokércz rendszeres bányászását. Másutt viszont, az urániumérczet ön- és ezüstjáratok előzik meg. Az urániumérczet, rendszerint a kőzetek mélyebben fekvő rétegeiben lelik.

Az urániumszurokércznél kisebb mennyiségben, de elterjedtebben találunk egyes urániumásványokat, a durvaszemű gránitokban, a pegmatitokban, apró szemcsék alakjában. Ilyenek, az *uránium-csillám* (kálcium-uránit), *uranothorit* (thoriumszilikát, 1—10% urániummal és 40—50% thoriummal), *thorianit* (thorium és urániumoxid, ritka földekkel és ólommal, 9—10% uránium- és 65% thoriumtartalommal), *samarakit* (a ritka földnek és urániumnak niob- és tántálvegyületei, 8—10% urániumtartalommal), *fergoszunit* (ugyanaz mint az előbbi, 1—7% urániummal), *monaczit* (uránium és thorium, valamint a ritka földek foszfátja, 0—5% uránium-, 7—30% thoriumtartalommal).

A felsorolt ásványok gránitba zárva, tehát eredeti vulkános kőzetben található, melyek málása, illetve átkristályosodása adja a másodlagosan fekvő urániumásványokat. Ilyennek tekintjük: a *carnotitet* (kálciumurániumvanadot, mintegy 50% urániummal), mely Coloradóban, homokkövek között, aránylag tekintélyes mennyiségben található. Ilyenek, a *gummit* (urániumoxidhidrát, ólom- és kavasavtartalommal, 50—65% urániummal), a *kalkolit* és *torbernit* (rézuranilfoszfát, mintegy 50% urániumtartalommal), *autunit* (kálciumuránilfoszfát, körülbelül 50% urániummal), *uranosphaerit* (uránium- és bizmutoxidhidrát, mintegy 40% urániummal), *uranospinin* (kálciumurániumárzenát, 49% urániummal), *zeunerit* (rézuranilárzenát, mintegy 50% urániummal), *uranocitrit* (báriumuránilfoszfát, 46% urániummal) stb.

Az urániumvegyületeket, leginkább üveg- és porcellánfestéknek használják s régebben, főként e célra bányászták. Nemrégén még a világ egész urániumszükségletét, a csehországi, joachimsthal-i bányák látták el. Itt főként urániumszurokérczet fejtettek. Az osztrák k. k. Arbeitsministerium kimutatása szerint, *Joachimsthalban*, 1854-től 1914-ig, összesen 496·5 tonna urániumszurokérczet fejtettek, átlag 50% urániumtartalommal. Csehországban, ezenkívül még *Freibergben*, *Przibramban*, *Schönfichtben* és *Petschauban* találnak urániumvegyületeket, de oly kis mennyiségben, hogy azokra, rendszeresen nem bányásznak. A cseh érczhegység Szászország felé eső részén, *Johanngeorgsstadtnban* és *Breitenbrunnban* szintén fejtenek urániumérczet, de az itt fejtett urániumszurokércz csak elenyésző csekély, annak évenként fejtett mennyisége,

alig éri el a 0·6—0·7 tonnát. Régebben ismert urániumlelőhelyet még Angliában, *Cornwallban* találunk. Itt több ízben kezdték az ércz fejtését, de csak amióta a rádium oly keresetté vált, fejtik ismét, a benne található rádium kedvéért. A *Cornwall* környéke, 1910-ben állítólag, kerekszámban 80 tonna, urániumban szegényebb (6—30% uránium-tartalmú) érczet szolgáltatott.

A rádium megismerésével a rádiumot szolgáltató urániumásványok keresése is, erősen föllendült. Portugália északnyugati sarkában, szétszórta, mintegy 150 urániumlelőhelyet találtak, amelyekben nagymennyiségű, de urániumban szegény (0·2—5% U_3O_8 tartalmú) kőzeteket fejtenek. E kőzetekben, az uránium főként *kalkolit* és *autonit* alakjában van és e kőzetek közül a 0·3—0·5%-os U_3O_8 tartalmúakat már földolgozzák. Az itt termelt érczet, részben a helyszínén dolgozzák föl, részben Franciaországba szállítják, ahol, a franciaországi *autonit*ekkel együtt dolgozzák föl.

Urániumtartalmú gránitpegmatitokat találtak még *Spanyolországban*, *Norvégiában*, a *Balkánhegységekben*, *Német-Kelet-Afrikában*, *Turkesztánban*, *Kaukázusban*, *Ausztrália* különböző vidékein, ahol helyenkint bányásszák, azonkívül *Canadában*, *Mexikóban*, az *É.-A.-Egyesült Államokban* és végül *Coloradoban*. Colorado vidéke egyébként, az eddig ismert urániumlelőhelyek között, a leggazdagabb. Az uránium itt helyenkint, a gránit szomszédságában, mint urániumszuokércz található, a főtömegét azonban, homokkőbe zárt *carnotit* adja.

Az utóbbi helyen termelt mennyiség (Petraschek: Die nutzbare Radiumvorräte der Erde):

1911-ben 25 tonna U_3O_8 ,

1912-ben 26 „ U_3O_8 ,

1913-ban 2140 „ *carnolit*, kb. 38 tonna U_3O_8 -al.

Néha az uránium, szénben is található. *Svédország* egyik szénfajtájának hamujában 1—3%, *Ausztráliában* talált szén hamujában pedig 4% uránium volt kimutatható.

Hazánkban az urániumot, sajnos, eddig még, semmiféle alakban sem találták.

Története. Az urániumot 1789-ben Klaproth fedezte föl, aki a csehországi Érczhegységben talált szuokérczet vizsgálva, abban egy új, addig ismeretlen elemet talált, amelyet az *Uranus* bolygóról, *uránium*-nak nevezett el. Utána főként Berzelius és Arfvedson foglalkoztak ez anyag vizsgálatával. Az uránium rádióaktivitását 1896-ban, Becquerel fedezte föl. Becquerel; Henry, Niwenglowsky és Trost állításait, hogy egyes, előzetes megvilágításra, sötétben világító anyagok, a Crookes-féle csövekben keletkező sugarakhoz hasonlóan viselkednek, vizsgálva, azt találta, hogy ez anyagok közül, egyedül az

urániumkáliumszulfát lövell, a Crookes-féle csövekben keletkező sugarakhoz hasonló sugarakat. Becquerel, későbbi vizsgálatai kimutatták, hogy e sugarak keletkezésének, semmi összefüggése sincs, az urániumkáliumnak sötétben való világítóképességével, hogy az összes, tehát a sötétben nem világító urániumvegyületek is, lövellnek ki ilyen sugarakat, és hogy a sugárzás nem az egyes urániumvegyületek, hanem magának az urániumnak tulajdonsága. Nemsokára Curie né, pontos kísérletekkel kimutatta, hogy a különböző urániumvegyületek sugárzótehetsége, arányos a bennük foglalt uránium mennyiségével, tehát a sugárzás az uránium atómos tulajdonsága.

Előállítása. Az urániumvegyületek előállítása aszerint, amint a különböző nyersanyagokból indulnak ki, különböző. Az urániumszurokérczből például, az uránium salétromsavval majdnem teljesen oldható, míg annak többi alkotórészei, részben szulfidok vagy szulfátok, továbbá oxidok alakjában oldatlanul maradnak vissza. Más ásványok, mint a *carnotit*, az *autunit* és *thorianit*, híg savakban oldhatók. Ez anyagokat tehát, valamilyen híg savval főzik, a megszárt oldatot, nátrium-karbonát oldatának fölöslegébe öntik; amikor a kezdetben kiváltott uránium, a kémlőszer fölöslegében oldódik, míg a mellette lévő idegen anyagok kicsapódnak. A leszűrt oldatot megsavanyítják, ebből a széndioxidot forralással elűzik. Ez oldathoz ammóniát adva, az urániumot ammóniumuránát alakjában választják le, amelyet ammóniás vízzel való kimosás és izztás után, a kivánt urániumvegyületté alakítanak át. Ha a nyers anyag savakban nem oldódik, úgy azt többnyire nátriumszulfáttal tárják föl, az olvadákot kevés kénsavval megsavanyított vízzel kilúgozzák, és a megszárt oldattal ugyanúgy járnak el, mint azt már leirtuk.

A fémurániumot, uránokloridból (UCl_4) fémnátriummal redukálják.

Sajátságai. Az uránokloridból redukált fémuránium, vörösszáson barnaszínű por alakjában válik ki, amely fehérizzáson apró gömböcskékké olvad össze. Az összeolvasztott fémuránium fehérszínű, fémfényű anyag, amely kovácsolható, de merevebb, semhogy vékony lemezekké nyújtható volna. Az uránium, állás közben elveszti fémfényét, felülete először aczélszürke, majd fekete réteggel vonódik be. Hevítve, élénk izzás és sziporkázás közben ég, miközben felülete fekete, urániumoxiduloxidréteggel vonódik be. Klórgázban hevítve, azzal élénk fény- és hőfejlődés közben, uránokloriddá egyesül. Brömgőzőkkel már nehezebben egyesül, jó d gőze pedig csak kevésbé támadja meg. Kén gőzében hevítve, azzal uránoszulfiddá (US_2) egyesül. Vízet az uránium sem alacsony, sem magas hőmérsékleten nem bontja el. Sósav a fémurániumot élénk hidrogénfejlődés közben könnyen, híg kénsav valamivel nehezebben oldja. Tömény salétromsav az összeolvasztott fémurániumot nehezen, a poralakút könny-

nyebben támadja meg. Hasonlóképpen viselkedik, vele szemben, a tömény kénsav, amely melegítve, kéndioxid fejlődése közben oldja.

A fémuránium fajsúlya 18·5. Atómsúlya, Hönigschmid adatai alapján, 238·2. Az uránium eszerint, az eddig ismert elemek között, a *legnagyobb atómsúlyal bíró anyag*.

Az uránium, vegyületeiben többnyire négy- és hatvegyértékű gyököt alkot, de lehet három- és ötvegyértékű is. Ilyen vegyületei az uránium triklorid UCl_3 és az urániumpentaklorid UCl_5 .

A négyvegyértékű uránium vegyületei, az uránovegyületek; az uránoklorid UCl_4 , az uránobromid UBr_4 stb., többnyire zöldszerűek. Ritkán használják s könnyen oxidálódnak.

A hatvegyértékű uránium vegyületei savtermészetűek. Így például az urániumtrioxid UO_3 , a krómtrioxidhoz hasonlóan viselkedik, és bázisokkal, a pirokromatokhoz hasonló, uránátokat ad. Ilyenek a kálium-uránát $K_2U_2O_7$.

Savakban oldott urániumtrioxid egyik oxigénatómját savgyök helyettesíti. Az ily módon keletkezett vegyületeket, uránilvegyületeknek nevezzük. Ilyenek, az uránilklorid UO_2Cl_2 és az uránilnitrát $UO_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$. Ez utóbbi a leggyakrabban használatos urániumvegyület; gyönyörű sárga kristályos anyag, melynek oldata sárgászöldön fluoreszkál, jól kristályosítható. Az uránilnitrát 50°-on saját vizében föloldódik, tovább hevítve vizet veszít, majd nitrogéndioxid-gőzöket fejleszt s oxiddá alakul át. Éterben igen jól oldódik, amikor az uránilnitráthoz kötött kristályvíz külön válik. Ha a vizes és éteres réteget különválasztjuk, ez utóbbiban találjuk az uránilnitrát főtömegét, míg a vizes rétegben az uránilnitrát szennyezései maradnak vissza. Az éteres oldatból az uránilnitrátot, az éter óvatos lepárlásával, újból visszanyerhetjük. Ezen eljárást gyakran használjuk, az uránilnitrát tisztítására. A könnyen robbanó oldat lepárlása, óvatosságot igényel és ajánlatos, a robbanás megelőzésére, az éteres oldathoz előbb vizet adni, s erről az étert, óvatosan ledesztillálni.

Az uránilvegyületekből hidroxidokkal nem urániumhidroxid, hanem uránátok keletkeznek. Alkáli-fémkarbonátokkal és ammóniumkarbonáttal az uránilvegyületek, eleinte csapadékot adnak, amely csapadék a kémlőszer fölöslegében föloldódik. Ezt a tulajdonságát szintén felhasználjuk az uránilvegyületeknek tisztítására. Az uránilvegyületek, leginkább sárgaszínűek.

Oxigénnel az uránium többféle vegyületet alkot. Ezek közül az urániumdioxid, az uránium bármely oxidjának, hidrogénáramban való hevítésekor keletkezik. Ez barna vagy barnásfekete poralakú anyag. Az urántrioxid vagy uránsav UO_3 , sárgaszínű por, mely akkor keletkezik, ha uránilnitrátot gyengén hevítünk.

Az urániumnak legállandóbb és legkönnyebben előállítható oxidja az urániumoxiduloxid vagy zöld urániumoxid. Ez a feketés-zöldes színű por akkor keletkezik, ha uránilnitrátot vagy urániloxálátot, oxigénáramban, erősen hevítünk s ezt kihevítés után, ugyancsak oxigénáramban hagyjuk kihűlni. Rádióaktív vizsgálatokra, az uránilnitráton kívül, leginkább a zöld urániumoxidot használjuk.

Rádióaktív viselkedése. Gondosan megtisztított, éteres-vizes oldatból többszörösen átkristályosított urániumvegyületek és a színuránium, csakis α -sugarakat lövellnek ki. E sugarak, Boltwood vizsgálatai szerint nem homogének, hanem két csoportba oszthatók. Az egyiknek hatótávolsága, Geiger és Nutal, továbbá St. Meyer és Paneth vizsgálatai szerint, 2·9 centiméter, a másik csoporté 2·5 centiméter.

Az uránium átlagos életkora $\Theta = 7 - 8 \times 10^9$ év,

„ „ bomlási félideje $T =$ kerek számban 5×10^9 év.

Mikor Curiené a rádiumot fölfedezte, de annak vegyületeit a báriumvegyületeitől elválasztani még nem tudta, frakcionált kristályosítással, csak változó mennyiségű rádiumot tartalmazó báriumvegyületeket tudott előállítani, e vegyületek rádiumtartalmát oly módon határozta meg, hogy egy körülbelül 6 centiméter átmérőjű, keskeny peremű, lapos fém-tányérkán, finoman porított fémurániumot terített el egyenletesen és ennek sugárzótehetségét, illetve a létesített vezetőképességet, a rádiumtartalmú báriumvegyület, teljesen azonos módon és körülmények között okozott vezetőképességéhez viszonyította és a hányszor akkora vezetőképességet mért, annyi urániumaktivitásúnak mondotta a vizsgált anyagot. Mivel a fémurániumot tisztán előállítani bajos, mások, e helyett a zöld urániumoxidot U_3O_8 ajánlották, összehasonlító készítményül. A kezdetben vizsgált és forgalomba hozott rádiumos készítmények aktivitását, urániumegységekben adták meg. Ez adatok azonban, ha e meghatározási módszer pontatlanságától el is tekintünk, már azért sem megbízhatók, mert az újonnan előállított rádiumos készítmények α sugárzó aktivitása, eleinte rohamosan növekedik — egy hónap alatt eredeti aktivitásának, körülbelül ötszörösét éri el, — és ez adatok legtöbbjénél nincs megemlítve, hogy a meghatározás közvetlenül a készítmény előállítása után, vagy valamely későbbi időszakban történt-e.

Az 1911. év őszén, *Brüsszelben* tartott, nemzetközi rádiológiai kongresszuson és azt megelőző irodalmi vitában, amelyben a rádióaktív készítmények értékmeghatározási módszereit tárgyalták, többen, arra való tekintettel, hogy az uránium vegyületeit könnyű tisztán előállítani, továbbá, mivel végtelen lassú bomlása folytán, sugárzása mérhető időn belül nem változik, a rádióaktív testek értékének megállapításánál, egységül az egy gramm uránium sugarainak hatására keletkező telítési áramot ajánlották. Hogy az egy gramm uránium sugarainak hatására, különböző körülmé-

nyek között milyen áram keletkezik, Mc Coy tanulmányozta behatóban. Mc Coy kísérleteinél zöld urániumoxidot használt, és azt tapasztalta, hogy az uránium egy és ugyanazon mennyiségének hatására keletkező telítési áram, bizonyos határon belül különböző, aszerint, amint az urániumoxidot vékonyabb vagy vastagabb rétegben terítjük el, de aránylag kis rétegvastagságon túl — egy négyzetcentiméter felületre 20 milligramm U_3O_8 — az áram független a kiterített uránium mennyiségétől, és csakis annak felületétől függ, ha a kísérlethez újonnan megtisztított (*Ur X mentes*) urániumoxidot használunk. E jelenség oka könnyen érthető. Az uránium ugyanis, csakis α -sugarakat lövell ki. Az α -sugarakat már aránylag vékony levegő és a szilárd testeknek még sokkalta vékonyabb rétege, teljesen elnyeli. Ha tehát az urániumoxidot, végtelen vékony rétegben terítjük el, úgy annak összes α -sugarai (illetve azok fele, miután az urániumoxid, lapra van kiterítve, tehát csak az egy oldalról kilövellt sugarak jutnak a levegőbe) teljesen kifejthetik ionizáló hatásukat. Ha a réteg vastagabb, úgy nemcsak a felületről, hanem annak belsejéből is indulnak ki sugarak. E sugarak már kisebb sebességgel fognak a levegőbe jutni, s így rövidebb úton érik el kritikus sebességüket, ennél fogva kevesebb iónt is termelnek, és végül, ha a réteg elég vastag, úgy a mélyebb részekből kiinduló sugarakat, a fedő rétegek teljesen elnyelik. Az összehasonlító mérésekre szolgáló, urániumoxiddal bevont lapok készítését Mc Coy, kísérletei alapján, a következő módon ajánlja:

A már ismertetett módon készített urániumoxidot, achátmozsárban, szárazon finom porrá, majd kevés kloroformmal sűrű folyadékká dörzsöljük el. Néhány másodpercznyi nyugodt állás közben, a durvább szemek leülepednek. A kloroformot, a benne lebegő urániumoxiddal leöntjük; a folyadékot újból összerázzuk és belőle körülbelül hat centiméter átmérőjű, lapos rézlapra annyit öntünk, hogy felületét teljesen ellepje, majd szobahőmérséken beszárítjuk. Ily módon, kis gyakorlattal a rézlapot, elég erősen tapadó, teljesen egyenletes urániumoxidréteggel vonhatjuk be, melynek vastagsága olyan, hogy a sugarai okozta áram, független a lapra tapadt urániumoxid mennyiségétől. Mc Coy kísérletei szerint, ha az ilyen lap, minden négyzetcentiméteréről kiinduló sugarak ionizáló hatására keletkező telítési áramot 790-nel (Mc Coy-féle szám) szorozzuk, úgy megkapjuk azt az áramot, amely, az egy gramm urániumból kiinduló, összes sugarak ionizáló hatására keletkezik. Mc Coy állítja, hogy az egy gramm uránium összes α -sugarainak hatására, 1.36 elektrosztatikai egységnyi ($4.55 \cdot 10^{-10}$ ampère) telítési áram keletkezik.

Az a terv, hogy a rádióaktív méréseknél, az egy gramm uránium sugarai hatására keletkezett áramot vegyük alapul, egyrészt a számítás bonyolult volta, másrészt a kísérleti nehézségek miatt, nem bizonyult célszerűnek; azért, az imént leírt lapokat, csak az esetben használjuk,

ha gyengébb aktivitást, illetve kisebb áramokat mérünk és közben az elektrométereinket akarjuk ellenőrizni. Megemlítjük még, hogy egy gramm rádiumnak újonnan átkristályosított vegyületből kilövellt α -sugarak aktivítása, kerek számban 1.700,000 gramm uránium aktivitásával és az egy gramm rádium tartalmú, egyhónapos készítmény aktivitása, 9.000,000 gramm uránium aktivitásával egyenlő. Meg kell azonban jegyeznünk, hogy az adatokat csak számítás útján és nem közvetlen kísérleti megállapítás alapján ismerjük.¹

¹ Azt, hogy a rádium α -aktivítása, hányszorosa, a vele egyenlő súlyú uránium α -aktivitásának, nagyjából, a következő megfontolás alapján számíthatjuk ki: Két α -sugárzó anyag azonos mennyisége, másodpercenként kilövellte α -részecskék száma, ha mindkét anyag egy-egy atómja, egy-egy α -részecske kibocsátása közben alakul át, arányos a két anyag bomlási együtthatójával és fordítva arányos azok átlagos életkorával. Az elmondottakból következik, hogy két ilyen anyagnak, egyensúlyban lévő mennyiségei, egyenlő számú α -sugarat lövellnek ki. Ha számításaink alapja, hogy egyensúly esetén, az uránium minden 1000 kilogrammjára 0.32 gramm rádium esik, úgy, ha mindkét anyag, egy-egy α -részecske kibocsátása közben alakulna át, az utóbbi, másodpercenként 3.125,000-szer annyi α -részecskét lövellne ki, mint az előbbinek ugyanazon mennyisége. De az uránium kétféle hatótávolságú α -sugarat lövell ki, azaz, két α -részecske kibocsátása közben alakul át, tehát a rádium, ugyanannyi idő alatt csak 1.562,500-szor annyi α -részecskét lövell ki, mint a vele egyenlő súlyú uránium. Eszerint a rádium, kerek számban 1.600,000-szer olyan aktív lenne, ha a két anyag α -sugarainak hatótávolsága egyenlő lenne. De a rádium α -sugarainak hatótávolsága valamivel nagyobb, mint az urániumé, tehát amazok, útjukban több iónt termelnek mint emezek, s így a megadott szám, tényleg valamivel nagyobb.

Ugyanezt pontosabban, a következőképpen számíthatjuk ki: Az alábbi táblázatban Z , egyetlen egy, R hatótávolságú, α -részecske termelte iónpárok számát jelenti:

$R =$	1	2	2.5	3	3.5	4	4.5
$10^{-5} Z =$	0.676	1.073	1.245	1.406	1.558	1.703	1.843
$R =$	5	5.5	6	6.5	7	8	9
$10^{-5} Z =$	1.977	2.106	2.232	2.354	2.474	2.704	2.925

A közbeeső adatokra Z értékét, egyszerű (lineáris) interpolálással számíthatjuk ki. (St. Mayer, Jahrbuch für Radioaktivität, 1914, 439. lap.)

Ha $n = 3.4 \times 10^{10}$, az egy gramm rádium másodpercenként kilövellte α -részecskék számát, $Z = 1.45 \times 10^5$ az egy α -részecske ($R = 3.13$) termelte iónpárok számát és $e = 4.7 \times 10^{-10}$ elektrosztatikai egységet, azaz egy ión töltését jelenti, úgy az egy gramm rádium α -sugarai hatására keletkezett telítési áram $i = nze = 2.32 \times 10^6$ elektrosztatikai egységű lesz. Miután az egy gramm uránium α -sugarai okozta telítési áram, 1.36 elektrosztatikai egységű, a rádium $\frac{2.32 \times 10^6}{1.36} = 1.7 \times 10^6$ urániumaktívítássú lesz, ha annak vegyületei újból átkristályosítottak.

Az egy hónapnál idősebb rádiumkészítményekben a rádium, három α -sugárzó termékével van egyensúlyban (l. a rádiumról szóló fejezetet), tehát a [$Ra\alpha(R=3.13) + Raem(R=3.94) + RaA(R=4.5) + RaG(R=6.57)$] α -sugarai okozta telítési áram $i = n\sum ze = 3.4 \times 10^{10} \times 4.7 \times 10^{-10} (1.45 + 1.69 + 1.84 + 2.37) \times 10^5 = 11.7 \times 10^6$ elektrosztatikai egységű, ennél fogva aktivitása urániumegységekben, kifejezve, 8.6×10^6 , kerek számban 9×10^6 urániumaktívítássú.

Uránium X. Az uránium vegyületei, gondos tisztítás esetén, mint említettük, kezdetben csak α -sugarakat lövellnek ki, bizonyos idő múltával azonban, az α -sugarak mellett, β - és γ -sugarak is jelentkeznek. Crookes tapasztalta először, hogy ha uránilnitrátot, ammóniumkárbonát oldatával, a szokásos módon megtisztítunk, úgy az ammóniumkárbonátoldat fölöslegében oldatlanul maradt, kismennyiségű szennyezés, fényképező lemezen, az eredeti uránium vegyületét sokszorosán felülmuló aktivitást mutat, míg a megtisztított uránilnitrát, ugyanily módon vizsgálva, inaktívnak mutatkozik. Crookes, kísérleteiből azt következtette, hogy a kereskedésbeli uránilnitrát mellett, kis mennyiségben, igen erősen aktív anyag van, melyet uránium X-nek nevezett el. Nem sokkal Crookes kísérleteinek közlése után, Becquerel azt tapasztalta, hogy ha uránilnitrát oldatához kevert kevés báriumnitrátot, bárium-szulfát alakjában kicsapjuk, úgy a bárium-szulfát, az uránium X-et magával ragadja.¹ Később azonban kimutatta azt is, hogy az így leválasztott bárium-szulfát, az urániumtól nyert aktivitását, körülbelül egy év alatt, majd teljesen elveszítette, míg az uránium, ugyanannyi idő alatt, az eredeti aktivitását ismét visszanyeri, tehát, hogy az uránium X, az urániumból állandóan keletkezik.

Az uránium X, mint azt már említettük (55. oldal), csak rendkívül csekély mennyiségben található, azért, még ha készítésére aránylag nagyobb mennyiségű urániumvegyületet is használunk föl, ezt oly mennyiségben tisztán előállítani, hogy vele a használatos kémiai, akár mikrochemiai reakciókat is elvégezhessük, nem tudjuk, de jelenlétét, erős β -sugárzása és aránylag rövid életkora révén, könnyen megállapíthatjuk.

Az uránium X elválasztására, leggyakrabban a Crookes-féle, ammóniumkárbonátos eljárást használják. Ha nagyobb mennyiségű urániumvegyületet akarunk uránium X elválasztására fölhasználni, úgy cél-

¹ Becquerel-lel körülbelül egyidőben, azokhoz hasonló kísérleteket végzett Lengyel Béla. Lengyel nagyobb mennyiségű, gondosan megtisztított uránilnitrátot, kevés báriumnitráttal kevert össze s e keveréket ívfényben összeolvasztotta, majd ez olvadékat salétromsavban oldotta és az oldatból a báriumot, szulfát alakjában kicsapta. Az így előállított bárium-szulfátot igen erősen aktívnek találta. Lengyel kísérleteiből, miután abban az időben Curie-né, a rádiumot a báriumtól elválasztani még nem tudta, továbbá, mivel akkor az a tény, hogy az uránium X az urániumból állandóan keletkezik, még ismeretlen volt, azt következtette, hogy az urániumszurokérczből, Curie-né leválasztotta, rádiumtartalmú bárium, a leírt módon leválasztotthoz hasonló és a közönséges báriumvegyületeknek csak aktív módosulata. A későbbi kísérletekből azután kitűnt, hogy Lengyel kísérleteinél is, a bárium-szulfáttal uránium X váltott le, noha ettől az uránilnitrátot előzetesen megtisztította, de ez abban, az alatt az idő alatt, amíg az báriumnitrátnak és uránilnitrátnak nagyobb mennyiségű keverékét, apránként összeolvasztotta, ami több hónapig tartott, ismét fölszaporodott.

szerű azt előzetesen frakcionált kristályosításnak alávetni. Ugyanis, ha az uránilnitrátnak 2·05 fajsúlyú forró oldata lehül, úgy az uránilnitrátnak körülbelül két harmadrésze kikristályosodik és a kristályokban az összes uránium X -nek mintegy 85%-a szintén leválik. Ha a kristályokat vízben oldjuk és az oldathoz fölös mennyiségű kétszer normál ammóniumkarbonátoldatot adunk, úgy az uránilnitrátban volt és oldatlanul maradt kismennyiségű, főként vashidroxidból álló csapadék mellett fogjuk találni az uránium X -et. Ha az uránilnitrát egészen tiszta, vagy ha abból a fönt leírt módon az uránium X -et már egyszer leválasztottuk s ezt bizonyos idő multán az uránium X -nek újabb leválasztására akarjuk fölhasználni, úgy előzetesen az uránilnitrát oldatához kevés vaskloridot kell adnunk, hogy az uránium X a leváltott vashidroxidhoz tapadhasson, mert ellenkező esetben, a végtelen csekély mennyiségű uránium X nem válik ki. Ha nagyon sok volna a vashidroxidos csapadék, úgy azt tömény-sósavban oldjuk és az oldatot éterrel rázzuk össze, ilyenkor a vaskloridnak főttömege az éterben oldódik s a vizes oldatban marad az uránium X .

Egy másik, szintén Crookes-től ajánlott eljárás, hogy a kristályos uránilnitrátot éterben oldjuk. Az uránilnitrát éterben igen jól oldódik. A kristályvíz ilyenkor különválik s ebben van, aránylag kevés uránilnitrát mellett, az uránium X .

Ha az uránilnitrát oldatában kevés báriumkloridot vagy ólomnitrátot oldunk s az oldatból a báriumot kénsavval kicsapjuk, úgy e csapadék, mint azt már említettük, az uránium X -et magával ragadja.

Ha az uránilnitrát oldatában thoriumvegyületet oldunk s ezt valamelyik kémszerével leválasztjuk, úgy az uránium X a csapadékkal szintén leválik. A thorium vegyületei ugyan maguk is sugárzók, de sugárzásuk, az uránium X sugárzásához képest nagyon gyenge, ezenkívül α -sugarakat lövellnek ki, úgy hogy ez a körülmény, az ilymódon leválasztott uránium X -szel végzendő vizsgálatokat nem igen befolyásolják.

Az uránium X lágyabb és keményebb β - és γ -sugarakat lövell ki. Ezek közül:

A lágyabb β -sugarak felét elnyeli	0·0136 mm vastag aluminium-lemez
A keményebb β - " " "	0·481 " " "
A " " " γ - " " "	0·95 cm ólom- vagy 1·68 cm vastag rézlemez
Az uránium X átlagos életkora (G. N. Antonoff vizsgálata szerint) $\theta = 33·9$ nap	
" " bomlási félideje	$T = 23·5$ nap
" " " együtthatója	$\lambda = 3·41 \times 10^{-7} \text{ sec}^{-1}$

Az uránium X , a leírtak szerint az urániumból, egy α -részecske kiválása közben keletkezik. Egy-egy α -részecske, mint tudjuk, egy-egy héliumatómból áll. A hélium atómsúlya 4, ennél fogva az uránium X atómsúlya négygyel kisebb mint az urániumé, s eszerint az uránium X atómsúlyát 234·2 kerek számban 234-nek veszik.

Uránium X_1 és uránium X_2 . Az uránium X közvetlen bomlási termékét sokáig nem tudták kimutatni. Fajans és Russel, később ismerttetendő elméleti meggondolásból arra a következtetésre jutottak, hogy az uránium X -nek összetett anyagnak kell lennie, amely egy aránylag hosszabb és egy rövidebb életű rádióaktív anyagból összetett. Nem sokkal utóbb, 1913-ban sikerült is Fajans-nak és Göhring-nek e két anyagot egymástól elválasztaniok, amelyek egyikét *uránium X_1* -nek, a másikat *uránium X_2* -nek vagy *brevium*-nak nevezték el. Fajans és Göhring e célból az uránium X -et, az ammóniumkárbonátos eljárással választották le, oly módon, hogy az uránilnitráthoz előzetesen kevés vaskloridot öntöttek; a kiváltott vashidroxidot híg sósavban oldották; ez oldatot fényesre csiszolt ólomcsészébe öntötték, azt néhány perczig üvegbottal kevergetve, abbanhagyták, majd az oldatot kiöntve, a csészét alkohollal kiöblítették és kiszáritották. Ilyen körülmények között, a csésze falán kevés uránium X_1 mellett, főtömegében uránium X_2 váltott le, míg az uránium X_1 főtömege az oldatban maradt vissza. Fajans és Göhring tapasztalatát, ezeknek újabb, valamint Hahn és Meitner, továbbá Fleck kísérletei megerősítették.

Ezek szerint, ha *uránium X* alkálikus oldatában *káliumhexathantálatot* oldunk s az oldatból a thantálsavat lecsapjuk, vagy ha uránium X oldatát frissen lecsapott thantálhidroxiddal rázzuk össze s megszűrjük, vagy még egyszerűbb, ha kis szűrőpapiros felületét, néhány milligramm nedves thantáldioxiddal vonjuk be s ezen az uránium X oldatát átszűrjük, úgy az uránium X_1 az oldatban marad, míg az uránium X_2 a thantál mellett válik le.

A közölt eljárások bármelyikével nyert uránium X_2 -vel együtt, mindig több vagy kevesebb uránium X_1 is kiválik. Ezt elkerülhetjük, ha az uránium X oldatában, előzetesen kevés thoriumvegyületet oldunk s ez oldattal eszközöljük a leírt elválasztásokat. Az eddigi tapasztalatok szerint, az uránium X_1 -et a thoriumtól elválasztani nem igen lehet, ez az oka annak, hogy thoriumvegyületek jelenléte, az uránium X_1 leválását megakadályozza. Ugyanez okból, ha az uránium X oldatában valamely thoriumvegyület kis mennyiségét oldjuk s ebből a thoriumot fluorhidrogénnel kicsapjuk, úgy az uránium X_1 ezzel válik le, míg a bepárolgatott oldatban az uránium X_2 marad.

Ha az uránilnitrát oldatában kevés ólomnitrátot oldunk s az oldatból az ólmot kénsavval csapjuk ki, úgy e csapadékkal főként uránium X_1 válik le, míg ha ugyanezen oldatból az ólmot klorid alakjában választjuk le, úgy a csapadékban uránium X_2 -t találjuk.

Az említett kísérletezők leírása szerint, az uránium X_2 :

átlagos életkora... .. $\Theta = 1.69$ percz, tehát

bomlási félideje... .. $T = 1.17$ „ és

„ együtthatója $\lambda = 9.9 \times 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$

Ezzel szemben az uránium X_1 állandói ugyanazok, amelyeket fön-
tebb, mint a két anyag keverékéből álló, uránium X állandóit közöltük,
ugyanis, mint azt már a rádióaktív anyag állandóinak megállapításáról
szóló fejezetben említettük, valamely rövidebb életű rádióaktív anyagnak
jelenléte, egy nálánál sokkalta hosszabb életű anyag sugárzásának vál-
tozását, észrevehetően csak addig befolyásolja, amíg a két anyag egy-
mással nincs egyensúlyban. Mihelyt a két anyag egymással egyensúlyba
kerül, azok együttes sugárzásának változása, gyakorlatilag a hosszabb
életű rádióaktív anyag átalakulási sebességével lesz arányos.

Az uránium X , mint azt fön-
tebb említettük, keményebb és lágyabb
 β - és γ -sugarakat lövell ki, e sugarak közül a keményebb β - és
 γ -sugarak az uránium X_2 -ből, a lágyabb β -sugarak az uránium X_1 -ből
erednek.

Miután az uránium X_2 , az uránium X_1 -ből β -részcsekék kilövellése
közben keletkezik, s a β -részcsekék tömege végtelen csekély, Ruther-
ford és Soddy elmélete értelmében az uránium X_2 atómsúlya gya-
korlatilag ugyanolyan, mint az uránium X -é.

Meg kell még jegyeznünk, ami egyébként az elmondottakból önként
következik, hogy az uránium X_1 -től különválasztott uránium X -nek leg-
nagyobb része, körülbelül egy negyed óra alatt elbomlik, míg az
uránium X_1 mellett, ugyanazon idő alatt, ugyanennyi ebből ismét fölhal-
mozódik, úgy hogy ezt, az uránium X_2 leválasztására újból felhasznál-
hatjuk. Miután az uránium X_1 és uránium X_2 , ha azokat egymástól el is
választjuk, rövid idő múlva ismét együtt találhatók, uránium X elnevezés
alatt a két anyag keverékét értjük.

Uránium I és uránium II. Az uránium, mint azt már említettük,
kétféle hatótávolságú α -sugarat lövell ki, amelyek közül az egyiknek
hatótávolsága, levegőben, 15° -on és egy légköri nyomás alatt 2.5 cm,
a másiké 2.9 cm. Az eddigi tapasztalatok szerint, valamely egynemű
rádióaktív anyag csak egyféle hatótávolságú α -sugarat lövell ki. Az a
tény, hogy az uránium kétféle hatótávolságú α -sugár kilövellése közben
alakul át, eszerint amellet szól, hogy az nem egynemű, hanem keverék.
Hogy az uránium két α -sugár kilövellése közben alakul át, azt a
63. oldalon, csillag alatt közölt meggondolásra alapított számítás és az
azzal egyező kísérleti adatok is bizonyítják. Az urániumnak nevezett
elem tehát két elem keveréke volna, amelyek egyikét *uránium I*-nek,
a másikat pedig *uránium II*-nek nevezték el. E két anyag közül az uránium
I-nek tulajdonítják a 2.9 centiméteres, az uránium *II*-nek a 2.5 centiméte-
res hatótávolságú sugarakat. Geiger és Nuttall tapasztalata alapján, amely
szerint, ha koordináta-rendszer egyik tengelye irányában egy rádióaktív
sorozat egyes tagjai α -sugarainak hatótávolságának, a másik tengely irányá-
ban azok átlagos életkorának logaritmusát rakjuk föl, az így nyert pontokat

összekötő vonal egyenes, ha az uránium *I* átlagos életkorát 8×10^9 évnek vesszük, az uránium *II* átlagos életkorát 3.000.000 évnek kapjuk. Ez alapon számítva, minden gramm urániumban, kerek számban 1 milligramm, vagy egy kilogramm urániumban 1 gramm uránium *II*-t kell találnunk. Bár ez a mennyiség nem nagy, de mégis olyan, hogy ilyen mennyiségben található anyag jelenlétének kimutatása, ha annak tulajdonságai a mellette levő anyag tulajdonságaitól különböznek, kémiai módszerekkel is lehetséges, és mégis, az összes ily irányú kísérletek eddig meddők maradtak. E tényből, és a még később közlendő föltevésekből, azt következtetik, hogy az uránium *I* és az uránium *II* kémiaiilag annyira hasonlók egymáshoz, hogy azok egymástól kémiai módszerekkel nem választhatók el, és azok keveréke kémiai módszerekkel szemben úgy viselkedik, mint kémiaiilag egynemű elemi anyag. Ugyane föltevések szerint az uránium *II* nem közvetlenül az uránium *I*-ből, hanem az uránium *X*, illetve uránium X_2 -ből keletkezik.

Az uránium *II* atómsúlyát, miután az az uránium X_2 -ből β -sugárzás közben keletkezik, az utóbbival (UX_2 -vel) egyenlőnek, tehát kerek számban 234-nek veszik.

Uránium Y. Antonoff G. N. 1911-ben közölt tapasztalatai szerint, ha az uránium *X*-et vasklorid jelenlétében, ammóniumkarbonátos eljárással választotta le és az így nyert csapadékban lévő uránium *X* átalakulási sebességét, a méréseknél leginkább érvényesülő, lágy β -sugarak ionizáló hatásával vizsgálta, úgy a sugárzás intenzitása, a megfigyelés kezdetén sokkal gyorsabban változott, mint a másként előállított uránium *X*-es csapadéké. Antonoff szerint, ha az uránium *X*-et bárium-szulfátos eljárással választjuk le, ez az eltérés nem észlelhető. Miből azt következtette, hogy a vas-ammónium-karbonátos eljárással, az uránium *X* mellett, egy másik β sugárzó rövidéletű, eddig ismeretlen rádióaktív anyag válik le, melyet uránium *Y*-nak nevezett el. Az uránium *Y* bomlási félideje, Antonoff szerint 1·5 nap.

Antonoff adatait Fleck A. czáfolja. Szerinte az eltérés onnan ered, hogy az Antonoff használta uránilnitrát thoriummal volt szennyyezve s az eltérést az uránium *X*-szel együtt kiválott thorium-*B* okozta. Antonoff újabb, továbbá Soddy, Hahn és Meitner, valamint Göhring kísérletei Antonoff észleléseit megerősítik, illetve kiegészítik. Ezek szerint mindazon eljárásokkal, amelyekkel uránium X_1 válik le, tehát a bárium-szulfátos eljárással is, az uránium X_1 -szel együtt uránium *Y* is leválik. Az uránium *Y*-t az uránium X_1 -től elválasztani nem lehet, de kevés uránium X_1 mellett aránylag sok uránium *Y*-t nyerünk, ha az uránilnitrát oldatából, ismételt lecsapással az uránium X_1 -et lehetőleg teljesen leválasztjuk s az így megtisztított oldatot, néhány órai állás után újabb eljárásnak vetjük alá, ez idő alatt ugyanis, az aránylag hosszú-

életű uránium X_1 -ből még nagyon kevés, míg a sokkal rövidebb életű aránium Y jóval nagyobb mennyiségben keletkezett.

Hahn és Meitner, 20 g vízmentes uránilnitrátot kevés vízben oldottak, ez oldathoz 1 cm^3 5%-os vaskloridot adtak és a *vashidroxidot* fölös ammóniumkarbonáttal kicsapták. A csapadékot szűrőn összegyűjtötték és kiszáritották, az oldatot sósavval megsavanyítva, ahhoz újabb 1 cm^3 -nyi vaskloridoldatot adva, az előbbi műveletet megismételték. E műveletet egymásután ötször megismételték s ily módon öt, főtömegében vashidroxidból álló csapadékot kaptak, amelyek közül az elsőn igen erős, az utolsón csak igen gyenge sugárzást észleltek. E csapadékok közül:

az 1.-ben, az oldatban eredetileg volt uránium X -nek körülbelül $72.6^{0/0}$ -át,	
a 2.-ban " " " " " " " "	18.0 "
" 3.-ban " " " " " " " "	7.1 "
" 4.-ben " " " " " " " "	2.0 "
és az 5.-ben " " " " " " " "	0.3 "

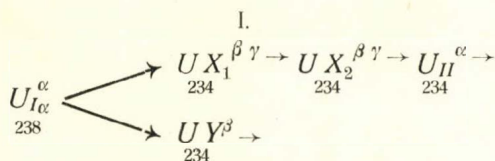
találták meg. Az uránium X -től ily módon megtisztított oldatban, 5—50 óra multával, az aránylag hosszúéletű uránium X -ből csak kevés, míg a nálánál sokkal rövidebb életű uránium Y -ből aránylag nagyobb mennyiség halmozódott föl. Ez idő letelte után, az előbbi műveletet megismételve, uránium Y -ban dúsabb készítményt kaptak, amely a vizsgálatok megejtésére alkalmasabb volt, mint az egyszerű módon lecsapott uránium Y . Hahn és Meitner, a leírt módon előállított készítménnyel megejtett vizsgálatukból, az uránium Y bomlási félidejét 25.5 órának találták.

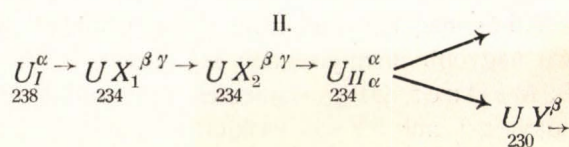
A vizsgálatok szerint, az uránium Y - lágy β -sugarakat lövell ki,

átlagos életkora	— — — — —	$\Theta = 36.8$ óra
bomlási félideje	— — — — —	$T = 25.5$ óra
" együtthatója	— — — — —	$\lambda = 7.55 \times 10^{-6} \text{ sec}^{-1}$

Miként az uránium X , ez is urániumból keletkezik, és pedig oly módon, hogy az uránium I vagy az uránium II kettős átalakulást szenvedne, amelyek egyikének, aránylag kis mennyiségben keletkező terméke az uránium Y volna. Ilyen kettős átalakulásról, részletesebben később szólnunk.

Az elmondottak alapján, az uránium rádióaktív átalakulásának termékeit és azoknak egymásutáni sorrendjét, a következő vázlat egyike tünteti föl:



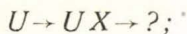


E vázlatban, az atómjegyek fölé irt görög betűk a radioaktív anyag sugarainak minőségét, a nyilak fölé irt számok, a nyíl előtti anyag számított atómsúlyát jelentik.

Ionium.

A fönti vázlat szerint, ha rövidéletű és csak igen kis mennyiségben keletkező uránium *Y*-t abból elhagyjuk, az uránium *I* uránium X_1 -é, ez uránium X_2 -vé és ez ismét uránium *II*-vé alakul át. Hogy az uránium *II*-nek mi az átalakulási terméke, az a vázlatban nincs kitüntetve.

Mikor Rutherford és Soddy, a rádióaktivitás jelenségét magyarázó elméletüket kifejtették, az urániumnak csak egyetlen bomlási terméke, az uránium *X* volt ismeretes s az uránium átalakulását, a következő vázlattal fejezték ki:



és ezzel fölvetették a további bomlási termékeknek kérdését.

Rutherford és Soddy, már 1903-ban kifejezték ama meggyőződésüket, hogy a rádiumnak az urániumból kell keletkeznie. Szerintük a rádium életkora, emberélethez viszonyítva igen nagynek látszik, de a a föld életkorához mérve sokkal rövidebb, semhogy a rádiumnak a földünkön való jelenlétét, mással lehetne magyarázni, mint hogy még egy, a rádiumnál sokkal lassabban bomló anyagnak kell a földünkön lennie, amely bomlása közben rádiummá alakul át s így a rádium elfogyó mennyiségét pótolja. Mivel a rádiumot az urániumérczekben találjuk, szerintük ez a forrás, csakis az uránium lehet. Ha e föltevés igaz, úgy azokban az urániumérczekben, melyek hosszú ideig háborítlanul voltak egy helyen, melyeket víz ki nem lúgozott, vagy semminemű változást hosszabb ideig nem szenvedtek, tehát olyanok, amelyekben az uránium a belőle keletkezett rádiummal egyensúlyba juthatott, e két anyag mennyisége között meghatározott súlyaránynak kell fennállnia.

Ezt az arányosságot, mint azt már egy más alkalommal említettük, később megjelent vizsgálatok tényleg megállapították.

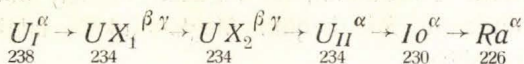
A rádiumnak az urániummal egyensúlyban lévő mennyiségéből, illetve az urániumnak, ez adatokból számított életkorának ismeretében azt is kiszámíthatjuk, hogy az urániumnak adott mennyiségéből, meghatározott idő alatt mennyi rádium keletkezik az esetben, ha az uránium közvetlenül rádiummá alakul. Ha az uránium átlagos életkora 8×10^9 év,

úgy egy kilogramm urániumból egy év alatt, $1000 \times \frac{1}{8 \times 10^9} = 1.25 \times 10^{-7}$ gramm bomlik el, illetve abból ugyanannyi rádium keletkezik. Ezt a mennyiséget az a körülmény, hogy az uránium α -sugárzás közben alakul át, tehát a keletkezett rádium mennyisége valamivel kevesebb lesz mint amennyi az átalakult uránium mennyisége volt, továbbá az a körülmény, hogy a keletkezett rádium egy része tovább bomlik és végül az, hogy a rádium nem közvetlenül az urániumból keletkezik, ha a két test közé az aránylag nagyon rövidéletű uránium X ékelődik, csak alig észrevehetően, csak a harmadik tizedesben befolyásolja.

Ilyen, sőt mint látni fogjuk, a rádiumnak ennél jóval kisebb mennyiségét is, miután ennek bomlási terméke, a rádium-emanáció gázalakú és így az anyaelemtől könnyen elválasztható, továbbá mivel ennek mennyisége, sugárzótehetsége alapján mérhető, nemcsak minőségileg, de mennyiségileg is könnyen meghatározható. Ennélfogva, ha mintegy 100—1000 gramm uránilnitrátot, amelyben mindig találunk kisebb-nagyobb mennyiségű rádiumot, ettől előzetesen megtisztítunk, majd, egy évig nyugodtan állani hagyjuk, úgy abban az esetben, ha a rádium közvetlenül az urániumból, vagy uránium X-ből keletkezik, ez idő alatt a rádiumnak olyan mennyisége fog fölhalmozódni, hogy azt könnyen meghatározhatjuk.

Soddy, Mackenzie és mások végeztek ily irányú kísérleteket. Az első kísérletek leírása szerint, a rádiumtól megtisztított uránilnitrátban, a rádiumnak egyidő mulva való jelentkezése megállapítható volt, de ennek mennyiségét a különböző kísérletezők különbözőnek, és mindig sokkal kevesebbnek találták, mint az a fönti számítás alapján várható volt. A későbbi kísérletek szerint, amelyeknél az uránilnitrátot még gondosabban megtisztították, a rádium keletkezésének nyomát sem tudták kimutatni. E körülmény amellet szól, hogy ha a rádium, amit egyébként számtalan körülmény bizonyít, az urániumból keletkezik, úgy az uránium és rádium közé, az uránium X-en kívül még, legalább is egy, hosszúéletű rádióaktív anyagnak kell ékelődnie. Kezdetben, az urániumérczekben szintén található aktiniumot vélték ennek, annál is inkább, mert már az aktinium fölfedezője, Debierne is említette, hogy az aktiniumkészítményekben kismennyiségű rádium-emanáció jelenléte mutatható ki. 1906-ban Boltwood jelentette, hogy saját előállította aktiniumkészítményben a rádium mennyisége, kis mértéken bár, de állandóan szaporodik. Ezzel szemben Rutherford, kísérleteiből azt következtette, hogy a rádium nem az aktiniumból, hanem egy kisebb-nagyobb mennyiségben mellette található más anyagból keletkezik; mert a különböző módon előállított aktiniumkészítményekben, a rádiumkeletkezés sebességét különbözőnek találta.

1907-ben közölte Boltwood, hogy az urániumszurokércz oldatának kénammóniummal nyert csapadékából nátriumthioszulfát segélyével, az aktinium mellől egy új rádióaktív anyagot sikerült elválasztania. Ez anyagnak chemiai viselkedése teljesen olyan, mint a thoriumé, s attól csak abban különbözik, hogy vegyületei a thorium vegyületeinél sokkal erősebb sugárzótehetséggel bírnak, továbbá, hogy belőlük állandóan rádium keletkezik. Boltwood ez anyagot *ionium*-nak nevezte el. Az *ionium* tehát az az anyag, amely az uránium és rádium közötti helyet kitölti s így az az uránium sorozatát kiegészítve, ha abból a bizonytalan helyzetű uránium Y-t elhagyjuk, a következő átalakulási sorozatot kapjuk:



A mi az *ionium* chemiai viselkedését illeti, azt röviden, néhány szóban foglalhatjuk össze: Az eddigi tapasztalatok szerint, az *ionium* vegyületeinek chemiai reakciói, teljesen hasonlóak a thoriumvegyületek chemiai viselkedéséhez.

Az *ionium* chemiai viselkedését tanulmányozandó, az osztrák kormány, több tonnányi, joachimsthalai urániumszurokércz földolgozásakor nyert kénammóniumos csapadékot bocsátott a *welsbachi* Auer-gyár rendelkezésére. Auer leírása szerint, 10 tonna urániumszurokérczből, mintegy 500 gramm olyan *ionium*-thoriumoxidot lehet nyerni, amely a a közönséges thoriumoxidtól csak abban különbözik, hogy ennek α -sugárzása, körülbelül 100,000-szer akkora, mint a közönséges thoriumoxidé és annyira intenzív, hogy sötétben önönmagától is erősen világít.

Hönigschmid és Horowitz, a fentemlített készítményből, az *ionium*-thorium atómsúlyát 231.5-nek, míg a közönséges thoriumvegyületekből leválasztott thorium atómsúlyát 232.1-nek találták. Ez adatokból számítva, ha az *ionium* atómsúlyát ($U - 2He$) 230-nak vesszük, a vizsgált *ionium*-thoriumoxidnak 30% *ionium*oxidot kell tartalmaznia.

Boltwood, Marckwald, Keetmann, Auer és mások, megkísérelték az *ionium*-thoriumvegyületeket frakcionált lecsapással, frakcionált kristályosítással, vagy azok különböző organikus vegyületeik frakcionált szublimálással egymástól elválasztani, de ez eljárások mind eredménytelenek maradtak.

Exner és Hatschek, ugyancsak Russel és Rossi, az *ionium*-thoriumvegyületek színeképét vizsgálva, azt találták, hogy azok látható színeképe teljesen egyezik a közönséges thoriumvegyületek színeképével.

Az *ionium* α -sugarainak hatótávolsága, 15°-on, 760 mm higanynyomás alatt 3.03 cm. Soddy és mások, az *ionium*ból képződő rádium keletkezési sebességéből, az *ionium* átlagos életkorát, körülbelül 100,000 évre becsülik.

A rádium.

Előfordulása. A rádiumot, ha végtelen csekély mennyiségben is, de földünkön mindenütt föllelhetjük. Megtaláljuk a talajban és a legkülönbözőbb kőzetekben.

Hogy a tömegesen előforduló kőzetekben, a rádium milyen mennyisége található, arról képet ad az alábbi kis táblázat:

I. Vulkánikus kőzetek.

	Szélső értékek	Átlagos mennyiség
porfirek	0·5—21·6 $\times 10^{-12}$ gramm	6·62 $\times 10^{-12}$ gramm
szienitek, Büchner és Strutt adatai szerint	1·9—9·3 „ „	4·90 „ „
gránitok	0·2—14·8 „ „	4·08 „ „
plagioklasztok	0·3—16·2 „ „	3·06 „ „
trahitek	0·3—3·6 „ „	1·76 „ „
doleritek	0·5—1·3 „ „	0·85 „ „
bazaltok	0·3—2·1 „ „	0·84 „ „
most is működő vulkánok lávája Joly adatai szerint	0·6—16·0 „ „	6·30 „ „

II. Üledékes kőzetek.

	Szélső értékek	Átlagos mennyiség
homokkővek, Fletcher adatai szerint	0·4—3·5 $\times 10^{-12}$ gramm	1·56 $\times 10^{-12}$ gramm
agyagok, Fletcher adatai szerint	0·4—1·8 „ „	1·30 „ „
mészkővek, Fletcher adatai szerint	0·0—4·3 „ „	1·15 „ „

III.

	Szélső értékek	Átlagos mennyiség
a szt. Gotthard-alagút fúrása-kor különböző mélységekben talált különböző, főként vulkánikus kőzetek Joly adatai szerint	0·7—14·3 $\times 10^{-12}$ gramm	4·20 $\times 10^{-12}$ gramm

IV. Tengerfenék képződményei, Joly adatai szerint.

globigerina-iszap	3650—4550 méter mélységből	...	...	...	3.3×10^{-12} gramm
kék agyag	2350	"	"	...	1.5 " "
rádiolária-iszap	4700—5000	"	"	...	13.1 " "
vörös agyag	4300	"	"	...	11.0 " "

A fönti adatokat, melyeket Gockel A., „Die Radioaktivität von Boden und Quellen“ című munkájából vettünk kivonatossan át, 1 gramm kőzetben talált rádium mennyiségét adják meg. Az adatok közül azok, melyeknek szerzője nincs megnevezve, több szerző közölte adatainak *szélső és átlagos* értékét adják meg.

Az adatokból nyilvánvaló, hogy a rádium földünkön mindenütt el van terjedve. Ezt mutatja egyébként, hogy megtaláljuk a közönséges talajban, gázalakú termékét, a rádium-emanációt, a talajvízben, a levegőben, és pedig aránylag nagyobb mennyiséget a levegőnek alsóbb rétegeiben, a barlangok és pinczék és a talajon át szívatott levegőben. Viszont a rádium-emanáció szilárd termékei megtalálhatók a frissen hullott hóban és esőcseppekben. Ilyen körülmények között csak természetes, hogy a magasabb hőfokú és az olyan ásványos vizek, a melyek nagyobb mélységből fakadnak, tehát vastagabb földrétegeket, esetleg rádiumban dúsabb kőzeteket járnak át, a rádium-emanációnak aránylag nagyobb mennyiségét találjuk.

Magyarország ásványos vizeinek rádium-emanációtartalmáról, szerző vizsgálatai alapján nyert, alábbi néhány adat ad képet:

Budapest, Rudasfürdő	Rákóczi-forrás	...	7.32×10^{-6} millicurie literenkint
Herkulesfürdő	Károly-	"	6.59 " " "
Budapest, Rudasfürdő	Török-	"	6.21 " " "
"	Kossuth L.-forrás	...	5.80 " " "
"	Mátyás-	"	5.24 " " "
" Ráczfürdő	Nagy-	"	3.12 " " "
" Sárosfürdő	forrás	...	2.57 " " "
Herkulesfürdő	Herkules-forrás	...	2.51 " " "
Eger, Püspökfürdő	forrás	...	2.20 " " "
Budapest, Ráczfürdő	Kis-forrás	...	1.73 " " "
Herkulesfürdő	Lajos-forrás	...	1.44 " " "
Budapest, Császárfürdő	Török-	"	1.05 " " "
Daruvár, Új iszapfürdő	forrás	...	0.99 " " "
Budapest, Császárfürdő	István-forrás	...	0.92 " " "
"	Nádor-	"	0.88 " " "
Daruvár	Kis-	"	0.80 " " "
Budapest, Császárfürdő	Mária-	"	0.78 " " "
Daruvár, Régi iszapfürdő	forrás	...	0.72 " " "
"	Mária-forrás	...	0.60 " " "
" Közp. iszapfürdő	forrás	...	0.58 " " "

Budapest, Császárfürdő	Ivó-forrás	0.58	$\times 10^{-6}$	millicurie literenkint
"	Antal-forrás	0.55	"	"
Szlatvin	Emma-	0.45	"	"
Lipik	ártézi kút	0.43	"	"
Újvidék	"	0.38	"	"
Budapest, Királyfürdő	forrás	0.36	"	"
Herkulesfürdő	Erzsébet-forrás	0.34	"	"
"	Szápáry-	0.33	"	"
Miskolcztapolcza	hév-	0.29	"	"
Előpatak	Főkút	0.21	"	"
Budapest, Margitsziget	ártézi kút	0.18	"	"
Daruvár	Antal-forrás	0.18	"	"
Előpatak	Új kút	0.17	"	"
Szlatvin	Anna-forrás	0.16	"	"
Daruvár	János-	0.10	"	"
Előpatak	József-	0.10	"	"
Herkulesfürdő	Ferencz-	0.10	"	"
Előpatak	Erzsébet-forrás	0.09	"	"
"	Natália-	0.07	"	"

(Egy millicurie = 1 milligramm rádiummal egyensúlyban lévő rádium-emanáció.)

Lásd a rádium mennyiségi meghatározásáról szóló bekezdést.)

Miután a rádium-emanáció gázalakú és vízben aránylag rosszul oldódik, ha az ásványos vízzel együtt gáz is tör elő, úgy rendszerint a gázban nagyobb mennyiségű rádium-emanációt találunk, mint a vele együtt felszínre kerülő vízben. Így például szerző

az egri hévízzel felszínre kerülő gáz literében	8.20×10^{-6}
a lipiki " " " " "	2.02×10^{-6}
az újvidéki " " " " "	0.45×10^{-6}

millicurie rádium-emanációt talált.

Mint az elmondottakból kitűnik, a rádium földünk felületén mindenütt megtalálható. Mivel a rádium a földünket borító kőzetek mindegyikében kimutatható, azt vélhetnők, hogy elterjedtsége a legtöbb földi elemnél nagyobb. Ez a következtetés azonban, valószínűleg téves. Hogy a rádium mérhető mennyiségét oly sok helyen megtaláljuk, annak oka egyszerűen az, hogy kimutatására olyan érzékeny módszereket ismerünk, amelyek az eddig ismert legérzékenyebb módszer, még a színeképelemzés érzékenységet is sokszorosan fölülmulják. Ugyanis, amíg a nátrium sárga vonala (egyike a színeképelemző készülékben legerősebben látható vonalának), akkor, amikor a nátriumnak mennyisége 10^{-10} gramm már nem látható, a rádiumnak, mint a közölt adatokból is kitűnik, 10^{-12} grammnyi, sőt annál még kisebb mennyisége is nemcsak kimutatható, de kellő körültekintéssel, annak mennyisége is elég pontosan és könnyen mérhető. Valószínű tehát, ha a többi elem meghatározására, a rádióaktív méréseknél használtakhoz hasonló érzékenységgű módszerek állnának rendelkezésünkre, úgy azok

elterjedéséről, a mostaninál egészen más képet tudnánk magunknak alkotni. Erre mutat például az is, hogy az urániumszurokércz nagyobb mennyiségének földolgozásánál, a földolgozott anyag azon részletében, melyből a rádiumot állítják elő, több kilogrammnyi bárium-szulfát gyülik össze, noha az urániumszurokércz összetételéről szóló régibb adatokban a bárium egyáltalában nincs annak alkotórészei között felsorolva, továbbá az, hogy az urániumszurokércz nagyobb mennyiségeinek földolgozásakor, a földünkön előforduló elemeknek tekintélyes részét megtaláljuk.

Noha a rádium meglehetősen elterjedt anyag, annak aránylag nagyobb mennyiségét kevés kivétellel, csakis az urániumszurokérczben és a dúsabb urániumtartalmú ásványokban találják. Ez a körülmény, valamint a rádiumnak aránylag rövid életkora, mint említettük, már régebben fölkelte a gyanút, hogy a rádium az urániumból keletkezik, továbbá, hogy a rádium- és urániumtartalmú ásványokban e két anyag mennyiségének arányosnak kell lennie.

Ily irányú vizsgálatot többen végeztek s e vizsgálatok eredményeként meglehetősen nagyszámú adat áll rendelkezésünkre. Ezek közül az alábbi táblázatban Gletitsch E.-nek, a párisi Curie-laboratoriumban végzett kísérletsorozatának eredményeit közöljük:

Az ásvány neve	Leőhelye	A rádium százalékos mennyisége	Az uránium százalékos mennyisége	$\frac{Ra}{U}$ arányszáma
chalkolit	Szászország	0.714×10^{-5}	39.29	1.82×10^{-7}
"	Portugália	1.300	39.03	3.33
"	"	0.024	0.724	3.35
"	Németország	0.905	28.80	3.14
"	Cornwall	1.700	48.66	3.49
carnotit	Colorado	0.375	16.00	2.34
autunit	Autun	1.200	46.92	2.56
"	Tonking	1.22	47.10	2.59
gummit	Németország	0.58	17.37	3.34
samaraskit	India	0.295	8.80	3.35
bröggerit	Norvégia	2.10	63.89	3.29
eleveit	—	1.81	54.90	3.32
uranothorit	—	0.16	4.83	3.31
thorianit	Ceylon	0.66	18.60	3.55
szurokércz	Joachimsthal	1.48	46.10	3.21
"	Norvégia	2.05	58.90	3.48
"	"	0.17	4.67	3.64
"	Cornwall	1.07	28.70	3.74
Középtértékben				3.16

E felsorolt adatokban a $\frac{Ra}{U}$ arányszáma 3.16×10^{-7} körül ingadozik, de ez értéktől meglehetősen nagy eltéréseket is találunk. Ennek oka a kísérleti hibákon kívül az, hogy a föld kérge változásoknak van

alávetve, azt helyenkint és időnkint a víz járja át. A vízjárta helyeken levő kőzetek és ásványok a víz kilúgzó és mállasztó hatására részben megváltoznak. Gletitsch és mások adatai szerint azokban az ásványokban, amelyeket régebbi korú tömör kőzetekbe bezártan találtak és amelyek, külsejük után ítélve is, a víz mállasztó hatásától hosszabb ideig mentesek voltak, a $\frac{Ra}{U}$ arányszám 3 és 3.5×10^{-7} között ingadozik.

Pontosan ezt az arányszámot nem ismerjük.

Miután a rádium mindig uránium társaságában fordul elő, e rádium nagyobb, tehát bányászásra érdemes mennyiségét is ott találjuk, ahol az urániumnak nagyobb mennyisége található. Ez utóbbi lelőhelyeit már az uránium leírásánál ismertettük, csak megemlítjük még, hogy a *joachimsthal*i telepeken 1909-től 1913-ig termelt rádium mennyisége, az osztrák kormány kimutatása szerint, 7.8 grammnyi volt. Petrascheck bécsi geológus, részben saját vizsgálatai, részben irodalmi adatok alapján,

a joachimsthal	bányákban még ki nem fejtett rádium mennyiségét	130 g-nak
a cornwalli	" " " " " "	25 "
a portugáliai	" " " " " "	30 "
a colorádói szurokércz-	telepekben	még ki nem fejtett rádium mennyiségét 10 g-nak
a colorádói carnotittelepekben	" " " " " "	200 "
a dél ausztráliai bányákban	" " " " " "	30 "
Összesen		425 g-nak

becsüli. Ez adatok természetesen csak a megnevezett helyeken, telérekben és bányászásra érdemes kőzetekben levő rádiumra vonatkoznak, és miután a számítás az eddigi bányászati viszonyokra alapított számos föltevésre támaszkodik, e számadatok csak hozzávetőleges értékeknek tekinthetők. A fönti számadatokban közölt mennyiség még távolról sem adja meg a föld összes rádiumkészletét, annál kevésbbé, mert több olyan urániumlelőhelyről tudunk, amelyek kiaknázását még nem kezdték el és valószínű, hogy még újabb lelőhelyekre is fognak még akadni. Ezenkívül, mint tudjuk, a különböző kőzetek mindegyikében kitudjuk mutatni a rádium jelenlétét; a rádiumnak az egyes kőzetekben talált mennyisége ugyan rendkívül kicsiny, de tekintve e kőzetek óriási tömegét, a bennük levő rádium összes mennyiségének elég tekintélyesnek kell lennie, úgy hogy a fönti szám, a föld összes rádiumkészletének csak egy tört részét fejezheti ki, de képet ad arról, hogy ez a mennyiség is, a többi földi elemek mennyiségéhez képest igen kicsiny.

Története. Becquerel az urániumvegyületek sugárzótehetségének fölismerésénél kimutatta azt is, hogy ez az összes urániumvegyületek

sajátsága és hogy a fémuránium sugárzókéessége erősebb, mint a vegyületeié. Becquerel, a különböző vegyületek sugárzásának összehasonlítására, a fényképező módszert használta. Ez az eljárás inkább csak minőleges vizsgálatokra alkalmas, ezért Curiené, a különböző urániumvegyületeinek sugárzó tehetségét 1908-ban, újból megvizsgálta a vizsgálataihoz, az elektromos módszert használta. Curiené méréseit oly módon végezte, hogy a fémurániumot és a különböző urániumvegyületeket igen finom porrá dörzsölve, hat centiméter átmérőjű, körülbelül egy milliméteres peremmel ellátott kerek fémtányérkákra egyenletesen és úgy terítette el, hogy a különböző anyagok egyenlő vastagságú és egyenlő felületű rétegeket alkossanak. E tányérkákat, fölváltva, két egymással szembe helyezett kondenzátorlemez közzé tette és az azokból kiinduló sugarak okozta telítési áramot mérte. E kísérletekből kitűnt, hogy a különböző urániumvegyületek sugárzó tehetsége arányos a vegyületek urániumtartalmával. Curiené vizsgálatait különböző urániumtartalmú ásványokra is kiterjesztette és ezirányú vizsgálatainak adatait az alábbi táblázatban közöljük:

	$i \times 10^{-11}$
fémuránium	2.3
urániumszuokércz Johangeorgenstadból	8.3
" Joachimsthalból	7.0
" Pribramból	6.5
" Cornwallból	1.6
cleveit	1.4
chalkolit	5.2
antunit	2.7
thorit különböző lelőhelyekről	0.1
" " "	0.3
" " "	0.7
" " "	1.3
" " "	1.4
orangit	2.0
monazit	0.5
xenotit	0.03
aeschynit	0.7
fergusonit	0.4
"	0.1
samarskit	1.1
niobit	0.1
"	0.3
tantalit	0.02
carnotit	6.2
thorianit	6.0

a fönti táblázatban, i a sugárzás okozta, ampèrekben kifejezett telítési áramot jelenti.

Az adatokban feltűnő, hogy az urániumásványok három fajtája, a *chalcolit*, a *carnotit* és *thorianit*, továbbá az urániumszirokérczek leg-többje, jóval erősebb sugárzó tehetséggel bír, mint a fémuránium.

A felsorolt ásványok közül a *calcolitet* (rézuranyfoszfát), mesterségesen is készíthetjük. Ha uránylnitrát és cuprifoszfát foszforsavas oldatának keverékét 50° – 60° -ra hevítjük, úgy abból egyidő múltán, a természetes *chalcollittal* teljesen egyező összetételű és alakú kristályok válnak ki. Curie né, a leírt módon előállított *chalcolit* sugárzótehetségét megvizsgálta, s miután azt tapasztalta, hogy ez egészen normális, vagyis olyan, mint azt a benne lévő uránium mennyiségének megfelel, ennél fogva nem tehető föl, hogy az uránium mellett lévő egyes anyagok az uránium sugárzó tehetségét fokozhatják, arra a következtetésre jutott, hogy az urániumnál erősebb sugárzó tehetségű ásványokban, az urániumnál sokkalta erősebbek aktív anyag kis mennyiségének kell jelen lennie; e következtetését bebizonyítandó, nagyobb mennyiségű urániumszirokérczet oldott föl s ez oldatból, az alkotó részeket külön-külön leválasztotta, amikor is azt tapasztalta, hogy az abból előállított urániumvegyületek aktivitása normális, a többi alkotórész inaktív, csak a szurokérczből leválasztott bárium és bizmutvegyületek mutattak az urániumnál jóval nagyobb aktivitást.

Curie né tapasztalataiból azt következtette, hogy a szurokérczből leválasztott bárium és a bizmut mellett egy-egy, chemiailag a báriumhoz, illetve a bizmuthoz hasonlóan viselkedő, igen erősen aktív anyag van, amelyek közül az előbbi, sugárzókéességéről *rádium*-nak, az utóbbit, szülőföldjéről *polonium*-nak nevezte el. E következtetést sokan, mivel nagyobb mennyiségű szurokérczből leválasztott báriumvegyületekben, a báriumtól chemiailag különbözően viselkedő anyag jelenlétét jóideig kimutatni nem tudták, kétkedéssel fogadták. Így Erdmann H. 1900-ban megjelent tankönyvében, Lengyel Bélának, a 64. lapon említett dolgozatára hivatkozva, a következő megjegyzést találjuk: „Dass diese Radiumstrahlen durch ein besonderen, dem Baryum in seinen chemischen Eigenschaften sehr nahestehenden Grundstoff, das Radium veranlasst werden (Curie), ist nach den Untersuchungen von Lengyel sehr unwahrscheinlich. Vermutlich liegen die Verhältnisse so, dass sehr geringe Menge bekannter Substanzen imstande sind, durch ihre Anwesenheit dem Baryum diese höchst merkwürdigen Eigenschaften zu verleihen. Ähnliche Verhältnisse sind beim Thor bekannt.“

Curie né, a szurokérczben gyanított új elem előállítására, Debierne-vel társulva, Debierne vezetése alatt lévő gyárban, nagyobb mennyiségű *joachimsthal*i urániumszirokérczből, az uránium előállítását után nyert maradéknak földolgozásához látott. Miután az ebből nyert báriumvegyületek mellől, semmiféle kémszerrel, erősebben aktív csapa-

déket leválasztaniok nem sikerült, megkisérelték, azokat frakcionált kristályosításnak alávetni. Ily módon sikerült különböző aktivitású kristályokat nyerniök, de ezek chemiai viselkedése semmiben sem különbözött egymástól és még színeképükben sem lehetett olyan vonalat fölfedezni, amely valamely idegen anyag jelenlétét elárulta volna. 1898 év végén jelentette Demarçay, hogy a Curiené előállította kristályok olyan frakciójának vizsgálatánál, amelynek aktivitása, az uránium aktivitásának 60-szorosa, a színekép ultraibolya részében egy igen gyenge, $\lambda = 381.47 \mu\mu$ hullámhosszal bíró új vonalat fedezett föl, majd egy később előállított készítményben, amelynek aktivitása az uránium aktivitásának 900-szorosa volt, e vonal erősebben s mellette két újabb vonal jelentkezett.

Annak bebizonyítására, hogy a rádium külön atómsúlylyal bíró elem, Curiené a különböző aktivitású rádiumbáriumklorid keverékek átlagos atómsúlyát is megvizsgálta időnként. Vizsgálatait oly módon végezte, hogy meghatározta a keverék kloridok, klórtartalmát s ebből számította a rádiumbárium keverék átlagos atómsúlyát. E vizsgálatok megszakítással, 1899-től 1907-ig folytak. Leírása szerint, az első ilyen vizsgálatoknál, amelyeket 230, illetve 600 urániumaktivitású készítményekkel végzett, az atómsúly, a kísérleti hibák határain belül ugyanolyan volt, mint a bárium atómsúlya (kerek számban 137). Észrevehetőbb különbséget csak egy 3500 urániumaktivitású készítménynél kapott, amelynek az átlagos atómsúlyt 140-nek találta. Ez utóbbi és későbbi vizsgálatainak eredményét Curiené, az alábbi táblázatban foglalja össze. E táblázatban A , a készítmény aktivitását urániumaktivitásban és P , a rádiumbárium átlagos, illetve a rádium talált atómsúlyát fejezi ki.

A	P	
3050	140	} a rádium színeképe igen gyenge
4700	141	
7050	145.8	
10^6 körül	173.8	a rádium színeképe jól látszik, de a bárium színeképe még uralkodó
	223.0	a két színekép körülbelül egyenlő erősségű
	225.3	a báriumnak csak három legerősebb vonala látható
	226.45	a báriumnak három legerősebb vonala csak halványan látható
		a báriumnak legerősebb, $455.22 \mu\mu$ hullámhosszú vonala csak alig látható

1910-ben állította elő Curiené a fémrádiumot és 1911-ben készültek Párizsban és ezzel egyidejűleg Bécsben, az 1910. év őszén, Brüsszelben tartott nemzetközi rádiológiai kongresszus határozatának megfelelően előállított rádiumstandardok, amelyek, egymással összehasonlítva, egymással egyező összetételűeknek és a megejtett vizsgálatok alapján, tiszta

rádiumkloridnak találtattak. H ö n i g s c h m i d-nek, a bécsi készítményen megejtett vizsgálatai, a rádium atómsúlyát 226·0-nak adták. Ez utóbbi értéket vették fel a nemzetközileg megállapított atómsúlytáblázatba.

Előállítás. A rádium, mint említettük, az uránium előállításának mellékterméke, illetve a rádium és egyéb rádióaktív anyagok nagy keresettsége miatt, most már ezek előállítása a főczél és mostanában olyan urániumérczeket és urániumtartalmú ásványokat is földolgoznak, amilyeneket, az uránium előállítására azelőtt nem használtak.

Az uránium vegyületeinek előállítása, mint azt az urániumról szóló fejezetben említettük, a nyersanyag természete szerint, lényegében háromféle eljárással történik. Az egyik eljárás szerint, a nyers anyagot salétromsavban oldják, a második szerint, azt előzetesen káliumhidroszulfáttal olvasztják össze, majd az olvadékot híg kénsavval oldják és végül a harmadik, legegyszerűbb eljárás szerint, az urániumtartalmú ásványt híg sósavban oldják fel. Az elsőnek említett eljárást, leginkább az urániumszurokércz földolgozásánál használják. Miután az urániumszurokércz egyes alkotórészei szulfidok, ezeket a salétromsav részben szulfátokká oxidálja és mivel a rádium szulfátja vízben és savakban oldhatatlan, a rádium, a szurokércznek salétromsavban nem oldódó részletében marad vissza. A joachimstali szurokércztelepeken ezt az eljárást használják s addig, míg a rádium ismeretlen volt, a salétromsavban oldatlanul maradt részt, a bányák környékén, dombokba halmozták össze. A most forgalomban levő rádiumnak jórészt ebből, az ezelőtt félrehányt anyagból állították elő.

A második eljárás szerint a rádium szintén oldatlanul marad vissza.

A harmadik eljárás szerint a rádium, illetve annak egy része, a sósavas oldatba megy át, de amikor azt az uránium megtisztítása céljából, nátriumkarbonát oldatának fölöslegébe öntik, az, az ilyenkor keletkező karbonátos csapadékba jut.

A rádiumnak az urániumtól való elválasztása tehát, már az uránium vegyületei előállításának, illetve tisztításának első szakaszában megtörténik. A rádiumot az uránium vegyületeinek előállításánál keletkezett, oldatlan maradékból állítják elő. E maradék földolgozása ismét, két szakaszra osztható. Az első szakasz, a meglehetősen nagymennyiségű maradéknak durva megtisztítása, a második hosszadalmasabb szakasz, a rádiumnak, a megtisztított és kloriddá alakított, báriumtól való elválasztása.

A maradék feldolgozásának első szakasza ismét különböző lehet, aszerint, amint a kiindulás a szulfátos vagy karbonátos maradékból történik, de különböző lehet aszerint, amint az tisztább vagy kevésbé tiszta, továbbá különbözhetik, a szulfátok kloridokká való átalakításának módjában is.

E részletkérdéseket mellőzve azt hisszük, hogy a rádium vegyületei előállításának módjáról úgy adunk legtisztább képet, ha egyszerűen azt az eljárást ismertetjük, amelyet e célra Curiené és Debierne dolgoztak ki és amelyet az urániummaradék feldolgozására, a joachims-thali telepeken némi módosítással ma is használnak.

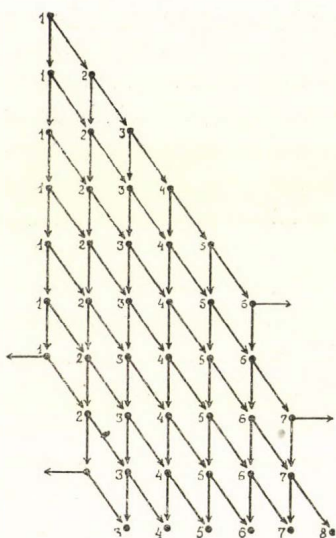
Curiené és Debierne eljárása szerint, a nyers urániumérczmaradékot, amely főtömegében kálcium és ólomszulfátból, kovasavból, alumíniumból és vasoxidból áll, amelyek mellett a szurokércz többi alkotórészei, mint a réz, bizmut, cink, kobalt, mangán, nikkel, vanádium, antimonium, thallium, ritka földek, niob, tantal, arzén, bárium stb. is találhatók, legelőször, hosszabb ideig tömény szóda-oldattal főzik, majd a maradékot szűrőn gyűjtik s azt, először nátriumkarbonát oldatával, később vízzel jól kimossák. E művelettel, az ólom és a kálciumszulfát karbonáttá alakul át, a kovasav és alumíniumoxid jórésze, továbbá az ólom egy része feloldódik. A nátriumkarbonát mennyiségét úgy választják meg, hogy a nehezebben átalakítható bárium és ezzel együtt a rádiumszulfát még változatlanul maradjanak. A kimosott csapadékot híg sósavval öntik le, amelyben az átalakult karbonátok feloldódnak, míg a változatlanul maradt szulfátok és föl nem tárt egyéb anyagok visszamaradnak. E nagyjából megtisztított maradékkal megismétlik az előbbi eljárást, de most már fölösleges mennyiségű szódát használnak, úgy hogy a maradék teljesen karbonáttá, illetve a sósavval való leöntés után kloriddá alakul. Ha ezt egyszerre nem érik el, úgy a műveletet mindannyiszor megismétlik, míg a maradék egész tömege sósavban feloldódik. A nyert sósavas oldathoz most fölösleges mennyiségű kénsavat adnak, amikor a rádium és bárium, továbbá a még jelenlevő ólom szulfátja, kevés hozzátapadt vas és egyéb szennyezésekkel, újból leválik.

Ily módon egy tonna urániumszurokérczből mintegy 10—20 kilogramnyi, úgynevezett nyers szulfátot kapnak, amelynek aktivitása körülbelül 30—60-szor akkora, mint a fémurániumé. Ezt újból szóda-oldattal főzik, az átalakult karbonátokat sósavban oldják s ez oldatot kénhidrogénnel telítik. A kénhidrogénnel nyert csapadékról leszűrt oldatban a kénhidrogént klórgázzal elbontják, majd az oldathoz ammóniát adnak s újból megszűrlik. Az ekként megtisztított oldatból a rádiumtartalmú báriumot, nátriumkarbonáttal kicsapják, a csapadékot vízzel jól kimossák, majd sósavban feloldják.

A rádium előállításának e második szakaszát követi annak utolsó, tisztább, de hosszadalmasabb szakasza, a rádiumnak a báriumtól való elválasztása. Az alkalmazott eljárás azon alapszik, hogy a rádiumklorid kevésbé oldódik vízben, mint a báriumklorid. Ha tehát a rádiumtartalmú báriumklorid oldatát csak annyira párologtatjuk be, hogy a bárium-

kloridnak csak egy része kristályosodjék ki, úgy az oldatban volt rádiumkloridnak nagyobb része a kristályokba halmozódik, míg az oldatban, annak csak kisebb része marad vissza. Ha tehát ilyen oldatból, a rádiumtartalmú báriumkloridot részletekben kristályosítjuk ki, a kiválot kristályokat feloldva újabb részleges kristályosításnak vetjük alá, s e műveletet többszörösen, oly módon ismétljük meg, hogy az egyes részletekben kiválot kristályok közül, az egyenlő rádiumtartalmú részleteket összekeverjük, úgy a rádiumkloridot, ha elég anyag állott rendelkezésünkre, hosszadalmas művelet után, de végül is teljesen tisztán kapjuk.

Curie né ez eljárás könnyebb megértésére, az alábbi vázlatot adja:



26. rajz.

Eszerint az urániumércz maradékának megtisztítása után nyert sósavas oldatot (1. sz. oldat) addig párologtatjuk, amíg forrón telített oldatot nyerünk. Miután a báriumkloridból, az oldat forrásának hőmérsékletén 37.6% -nyi, 20° -on meg csak 26.3% -nyi oldódik, ha ez oldatot a szoba hőmérsékletére hűtjük le, úgy abból, a benne oldott báriumkloridnak nem egészen egy harmada kikristályosodik. A kristályokról az oldat egyszerűen leönthető. E kristályokban találjuk az eredeti oldatban volt rádiumnak mintegy négy ötödét, míg annak körülbelül egy ötöde, az oldatban marad. A vázlatban, a függőleges nyilak a kiválot kristályokat, a ferde nyilak a kristályokról leöntött oldatot jelzik. Eszerint az 1.

számú oldatból, az 1. számú kristályokat és a 2. számú oldatot nyerjük. A bepárologtatott 2. számú oldat lehűtésekor kapjuk a 2. számú kristályfrakciót és a hármas számú oldatot. E műveletet egymásután hatszor ismétljük meg. A 6. számú kristályok kiválása után visszamaradt oldat rádiumtartalma, rendszerint már olyan csekély, hogy azt tovább kristályosítani már nem érdemes. Ez eljárással nyert 6 kristályfrakció közül, az elsőben a legtöbb, az utána következőkben fokozatosan kevesebb rádiumot találunk. Ezek közül az 1. számú kristályokat, annyi vízben oldjuk, hogy ismét forrón telített oldatot kapjunk. Ennek kihűlésekor, az újabb 1. számú kristályokat és 2. számú oldatot nyerjük. Ez újabb 2. számú oldatban, forralás közben feloldjuk az előbb nyert 2. számú kristályokat és az oldat lehűtése után kapjuk az újabb 2. számú kristályokat és a hármas számú oldatot. E művelet hétszeri megismétlése után nyert oldat ugyanolyan, mint az előbbi műveletnél, a 6. számú kristályokról leöntött oldat. Ez újabb, és az azokból nyert

kristályfrakciókkal, a leírt műveletet annyiszor ismétlik, míg az egyes műveleteknél nyert kristályok mennyisége olyan kicsiny lesz, hogy azokat nagyobb veszteség nélkül tovább kristályosítani már nem lehet. Megjegyezzük, hogy e műveleteket, akkor, amikor a kristályosítandó anyag mennyisége már kisebb lesz, azzal könnyebbítik, hogy a kristályokat víz helyett, tömény sósavban oldják. A tömény sósav sokkal rosszabban oldja azokat, mint a víz s így a művelet, különösen akkor, amikor a kristályosítandó anyag mennyisége kicsiny, sokkal könnyebbé válik. Azt is ajánlották, hogy ezen eljárás vége felé, a kloridokat bromidokká alakítsák át, mert a rádium- és bárium-bromid oldhatósága közti különbség valamivel nagyobb, mint a kloridoké, de ezt az előnyt ellensúlyozza az, hogy a rádium-bromid viszont, kevésbé állandó, mint a rádium-klorid.

Az ily módon nyert kristályfrakciók rádiumtartalma, elsősorban az eredetileg feldolgozott nyersanyag mennyiségétől és rádiumtartalmától függ, továbbá az egyes kristályfrakciók sorszámától. Ha tiszta rádium-kloridot akarnak nyerni, úgy e célra több tonnányi urániumsurokérczet kell feldolgozni. Ilyenkor a részletekben feldolgozott anyag kristályosításakor nyert egyenlő rádiumtartalmú frakciókat összegyűjtik, s újabb kristályosításnak vetik alá. Meg kell jegyeznünk, hogy tiszta rádiumvegyületből csak keveset állítanak elő. A forgalomba jutó rádiumvegyületek rendszerint, egy súlyrész rádium-klorid, és két súlyrész bárium-klorid keveréke. Az ilyen rádium-bárium-klorid ára, természetesen annak rádiumtartalmától függ, s ezt sugárzása alapján állapítják meg.¹ Meg kell még jegyeznünk, hogy egy tonna joachimsthal-i szurokérczben, 20—25 czentigramm rádium (elem) van.

A fémrádium előállítására, Curiené és Debierne közlése szerint, ugyanazon eljárás használható, amelyet Guntz, a fémbárium előállítására használt. Curiené és Debierne e célra, körülbelül 0.10 g rádium-kloridnak vizes oldatát, higanykatóddal és platínirídium-anóddal elektrolizálták. A kapott rádiumamalgámot vascsónakba öntve, azt kvarcscsőben helyezték el, és ezt, a higany legnagyobb részének elpárolgásáig, hidrogénáramban 400°-ra, majd légüres térben 700—800°-nyi hőmérsékletre hevítették. E hőmérsékleten, a higany utolsó nyoma is elpárolgott, s az eleinte keletkezett hidrid is elbomlott. A hidrid elbomlásakor a fémrádium egyrésze szétszóródott és a kvarcscövet erősen megtámadta.

Sajátságai. A fémrádium, Curiené és Debierne leírása szerint, 700—800° körül olvad, s viselkedése teljesen hasonló a földfémek viselkedéséhez. A vizet amazokhoz hasonlóan erősen bontja, és a keletkezett

¹ Ha egyszerűen X gramm rádiumról beszélünk vagy írunk, az alatt valamely rádium-, vagy rádiumos báriumvegyület olyan mennyisége értendő, amelyben a rádium (elem), adott mennyisége van.

hidroxid a vízben feloldódik. A levegőn gyorsan oxidálódik. A fém-rádium, miként a vegyületei, maga is aktív s aktivitása idővel növekedik. A fémrádiumból is, miként a vegyületeiből, rádium-emanáció keletkezik.

A rádium vegyületeiben, miként a földfémek, kétvegyértékű. A rádiumklorid $RaCl_2$, a rádiumbromid $RaBr_2 \cdot 2H_2O$ és a rádium-nitrát vízben jól, de a megfelelő báriumvegyületeknél rosszabbul oldódik. A rádiumkarbonát és -szulfát, gyakorlatilag vízben oldhatatlanok. A rádium vegyületei, a bárium vegyületeihez teljesen hasonlóan viselkednek, azzal a különbséggel, hogy a rádium vegyületei vízben általában kevésbé jól oldódnak, mint emezek. A rádium vegyületei közül a rádiumklorid, ha tiszta, hosszabb ideig változatlan marad. A bárium-tartalmú rádiumklorid azomban, saját sugarainak hatására, rövid idő alatt megváltozik. Az ilyen kristályok, előállításuk után színtelenek, de már néhány óra leforgása alatt megsárgulnak. A rádiumbromid, a -kloridnál kevésbé állandó. A vízben oldható rádiumvegyületek, állás közben, részben oldhatatlan vegyületekké alakulnak át, ezeket csak híg savakban tudjuk feloldani. A rádiumos oldatot egyébként is czélszerű gyengén megsavanyítani.

A tiszta rádiumvegyületek a színtelen Bunsen-lángot biborvörösre festik. A rádium vegyületeinek színe, a földfémek vegyületeinek színekéhez hasonló.

A rádium atómsúlyát, a nemzetközi atómsúlytáblázatokba, Hönigschmied-nek 1912. és 1913. években megajtett vizsgálatai alapján, 216-nak vették föl.

Rádióaktív viselkedése. A rádium és vegyületei, csak α - és igen lassú β -sugarakat lövellnek ki. Az újonnan előállított rádiumvegyületek α -sugárzása fokozatosan nő és ezek mellett β - és γ -sugarak is jelentkeznek. E sugarak a rádium bomlási termékeitől erednek, amelyek, a rádiumvegyületei átkristályosításával ismét eltűnnek.

A rádium α -sugarainak hatótávolsága, (15° -ú és 760 mm nyomású levegőben) 3·3 centiméter. A tiszta és újonnan előállított vagy átkristályosított rádiumvegyületekben mindig kimutatható lassú β -sugarak eredetéről, mivel az uralkodó elmélet szerint, az egynemű rádióaktív anyag, egyidőben csak α - vagy β - és γ -sugarakat lövellhet ki, a nézetek eltérők. Egyesek lehetségesnek tartják, hogy a rádium, a rádium C-hez hasonlóan, kétféle átalakulást szenved. E föltevés szerint, a fő átalakulást α -sugárzás kíséri, ennek terméke a rádium-emanáció és emellett a rádium tört része, lágy β -sugárzás közben, egy eddig még ismeretlen anyaggá alakulna át. Más felfogás szerint, e lágy β -sugarak, egyszerűen az α -sugarak ütközése következtében keletkező másodlagos sugarak, vagy szabaddá tett elektronok volnának.

A rádium rádióaktív állandóit, hosszú életkora miatt, közvetlenül megállapítani nem tudjuk; annak közvetett úton való megállapítását többen megkísérelték. Így Boltwood meghatározta, hogy ismert mennyiségű urániumot tartalmazó ásványból leválasztott és rádiumtól megtisztított iónium, az idő egysége alatt mennyi rádiumot termel. Ez adatokból, a rádium bomlási félidejét, $T = 2000$ évnek számította. Kettmann, ugyanilyen eljárással 1800 évnek találta. Rutherford és Geiger, az egy gramm rádiumnak, az idő egysége alatt kilövellt α -részecskéinek számából, a rádium bomlási félidejét 1850 évnek számították és végül ugyanazt, az egy gramm rádiummal egyensúlyban lévő rádium-emanáció mennyiségéből (0.6 mm^3) számítva, 1750 évnek kapjuk.

Ez adatok meglehetősen eltérnek egymástól, s ezért kerek számban a rádium

átlagos életkorát	--- --	$\Theta = 2500$ év,
bomlási félidejét	--- --	$T = 1750$ év,
„ együtthatóját	--- --	$\lambda = 4 \times 10^4 \times \text{év}^{-1}$ -nek

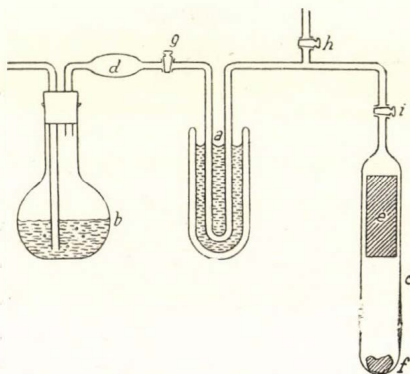
veszszük.

Rádium-emanáció. A rádium közvetlen átalakulási terméke a rádium-emanáció. A rádium-emanáció gázalakú anyag, s így a rádiumtól könnyen elválasztható. Szilárd rádiumvegyületek, a belőlük keletkezett emanáció nagyobb részét magukba zárva, visszatartják. A vegyületekbe zárt rádium-emanáció egyrésze, ha azokat megnedvesítjük, részben felszabadul, de teljesen csak akkor szabadul fel, ha a szilárd vegyületet megolvasztjuk, vagy ha azokat feloldjuk, s oldatukon keresztül sok levegőt hajtunk át. A rádium-emanáció kiűzését, az oldat forralásával elősegíthetjük. Bár a rádium-emanációnak mindig csak igen csekély mennyisége keletkezik, annak jelenlétét, erős α sugárzó tehetsége folytán, könnyen kimutatjuk. A rádium-emanáció önálló gázalakú anyag-voltát bizonyítja egyebek között az is, hogy a vele elkeveredett gázoktól elválasztható, megsűrűsíthető, sőt forráspontja is megállapítható. A rádium-emanáció fizikai állandóinak megállapítását, annak rádióaktív viselkedése nagyban elősegíti, sőt e nélkül azok legtöbbjét, képtelenek volnánk meghatározni, mert e gázból oly rendkívül kis mennyiség áll rendelkezésünkre, hogy a közönséges gázok fizikai állandóinak megállapítására használt módszerek legtöbbje, nem használható.

A rádium-emanáció sűrűségét, először Rutherford és Soddy állapította meg. Rutherford és Soddy egyik irányú kísérletét, már néhány milligramm rádiumból nyert rádium-emanációval könnyen megismételhetjük. E kísérletre a következő egyszerű készüléket használhatjuk. Vékonyabb üvegből készült U-alakú cső (27. rajz) (a) egyik szára kétfuratú dugóval ellátott lombikkal (b), a másik szára szélesebb,

alul beforrasztott üvegcsővel (*c*) közlekedik. A lombikban van a rádiumos oldat s a dugó két furata egy, az edény fenekéig érő és egy, a dugó alatt végződő üvegcsővel van ellátva. E rövidebb üvegcső és az **U**-cső közé, az áthaladó gázok megszáritására, foszforpentoxiddal beporozott, üveggyapottal lazán megtöltött tekét (*d*) igtatunk. A (*c*) üvegcső felső részébe, kristályos cinkszulfiddal bevont lapot (*e*); aljára, villemit kristályt helyeztek. A (*c*) üvegcsövet, az **U**-csővel összekötő cső (*h*), csappal ellátott elágazása, légszivattyúval közlekedik. A készülék, egyes részeinek elzárására, még két (*g*, *i*) csappal van ellátva.

A kísérlet megkezdésekor mind a három csapot kinyitjuk, és az **U**-alakú csövet, cseppfolyós levegőbe mártjuk. Ezután a lombikon és a (*g*) és (*h*) csapokon, a vízszivattyú felé haladó, lassú levegőáramot indítunk meg. A rádiumos oldaton áthaladó levegő a rádium-emanációt



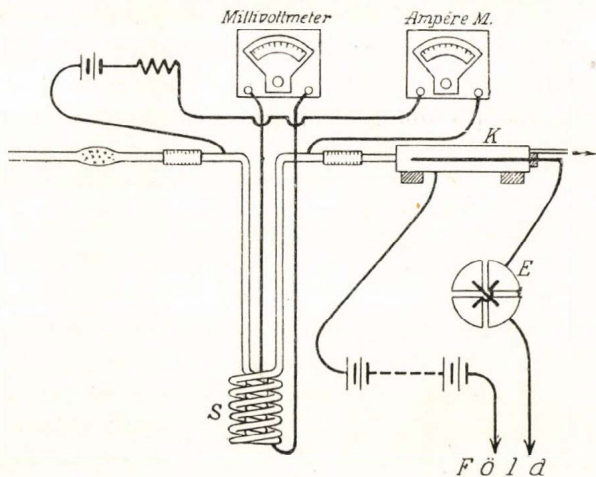
27. rajz.

magával ragadja, s ez, a cseppfolyós levegővel hűtött **U**-csőben lecsapódik. Néhány percz mulva a (*g*) csapot elzárjuk, a levegőt, az egész készülékben megritkítjuk, ezután a légszivattyúval közlekedő (*i*) csapot is elzárjuk és a kísérleti helyiséget elsötétítjük. Ilyenkor az egész készülék sötét, ha nagyobb mennyiségű rádiumot használunk a kísérlethez, úgy az **U**-csőnek az a része, ahol az emanáció megsűrűsödött, gyengén világít. Ha a cseppfolyós levegőt eltávolítjuk, az emanáció, a cső fölmelegedé-

sével elpárolog, a készülékben elterjed, és a mint a szélesebb (*c*) csőbe ér, először a *czinkszulfid*, majd a *willemit* is, élénken kezd világítani. Ha most a (*c*) cső alsó részét hűtjük le, úgy a willemit világítása élénkül, a czinkszulfiddé pedig halványodik, s néhány óra mulva ez utóbbinak világítása teljesen megszűnik, jeléül annak, hogy az emanáció, az üveg lehűtött, alsó részén és a willemiten sűrűsödött. Ezt bizonyítja az is, hogy ha ilyenkor a cseppfolyós levegőt eltávolítjuk, a czinkszulfid világítása újra megkezdődik. A czinkszulfid néhány órányi utóvilágításának oka, hogy a rádium-emanációból szilárd, α sugárzó rádióaktív lerakódás keletkezik, amely a czinkszulfidet bevonja s míg el nem bomlik, még jó ideig világításra ingerli.

E kísérletet, némi módosítással, Rutherford és Soddy, a rádium-emanáció párolgási hőmérsékletének meghatározására is fölhasználták. A készüléket, melyet e célra használtak, az alábbi 28. rajz tünteti föl.

E készülék lényegében ugyanolyan, mint az előbb leírt, azzal a különbséggel, hogy az ott alkalmazott U-alakú csövet egy rézből készült (S) spirális cső, a cinkszulfidot és willemitet magábazáró üvegcsövet pedig, (E) elektrométerrel összekötött, hengeralakú fémkondenzátor (K) helyettesíti. Ezenkívül, a rézcső elektromos teleppel, ampèreméterrel és millivoltméterrel van összekötve, amelyek a rézcső elektromos ellentállásának mérésére s ez alapon, a hőmérséklet meghatározására szolgálnak. A rézcső, elektromos motorral kevert cseppfolyós etilénbe van mártva, amelyet, a kísérlet tartama alatt, cseppfolyós levegővel hűtöttek. A készüléken keresztül, a kondenzátor felé lassú és egyenletes, elektrolitesen előállított oxigén vagy hidrogén gázáram halad, amely a rádium-emanációt magával ragadja. A 28. rajzon, egyszerűség kedvéért, az emanációt szolgáltató edényt elhagytuk. Mindaddig, míg a rézcső, a cseppfolyós levegő hőmérsékletére van lehűtve, az emanáció abban kondenzálódik, s abból a kondenzátorba semmi sem jut. Rutherford és Soddy, a cseppfolyós levegő eltávolítása után megfigyelték azt a hőmérsékletet, amelynél az oxigén- és hidrogéngázáram küllömböző sebessége mellett, az emanáció első nyoma és azt, amelynél az összes rádium-emanációnak fele jutott a kondenzátorba.



28. rajz.

Rutherford és Soddy adatainak rövid kivonatát, az alábbi táblázat tünteti föl:

Az átvezetett gáz	A gázáram sebessége	T_1	T_2
hidrogén	0.25 cm ³ másodpercenként	—151.3	—150
"	0.32 "	—153.7	—151
"	0.92 "	—152	—151
"	1.38 "	—154	—153
"	2.3 "	—162.5	—162
oxigén	0.34 "	—152.5	—151.5
"	0.58 "	—155	—153

A táblázatban T_1 , a hőmérsékletet jelenti, amelynél az emanáció első nyoma, T_2 , amelynél az összes rádium-emanáció fele jutott a ké-

szülékbe. Ez adatok alapján, Rutherford és Soddy, számításba véve azt az időt, mely alatt az áramló emanáció, a csőből a kondenzátorba jutott, a rádium-emanáció párolgási hőmérsékletét -152° és -154° közé esőnek állapították meg. E számításnál, a fönti táblázatnak, a másodpercenként $2-3 \text{ cm}^3$ sebességű hidrogén gázárammal nyert adatát számításon kívül hagyták, mert tapasztalatuk szerint az ilyen, és ennél nagyobb sebességű gáz, már nem hül le a spirális hőmérsékletére.

A rádium-emanáció $152-154^{\circ}$ közé eső kondenzálási és párolgási hőmérséklete, noha a kísérlet közönséges nyomású gázáramban folyt le, nem tévesztendő össze, a rádium-emanáció, közönséges értelemben vett (egy légköri nyomás melletti) forráspontjával, mert hiszen, a rádium-emanáció saját (parciális) nyomása, a mellette lévő gázok nyomásához képest, rendkívül csekély volt; amit Rutherford nagyobb mennyiségű, gondosan tisztított rádium-emanációval végzett kísérleteinek adatai is bizonyítanak. E kísérletekben Rutherford, a különböző hőmérsékletekre hűtött rádium-emanáció gőznyomását mérte. E kísérletek szerint a:

— 65°C -ra lehűtött rádium-emanáció gőzének nyomása	76	cm
— 78 " " " " " "	25	"
— 101 " " " " " "	5	"
— 127 " " " " " "	0.9	"

vagyis a rádium-emanáció forráspontja (760 mm barométerállás mellett), 65°C .

Rutherford kísérleteit Gray W. és Ramsay megismételték s kísérleteik végeredményét, az alábbi adatok, melyekben a hőmérséklet abszolút fokokban, a nyomás milliméterekben van kifejezve, tüntetik föl.

Nyomás mm-ben	Hőmérséklet abs. hőfokokb.	Nyomás mm-ben	Hőmérséklet abs. hőfokokb.	Nyomás mm-ben	Hőmérséklet abs. hőfokokb.
500	202.6°	5,000	262.8°	30,000	346.0°
800	212.4	10,000	290.3	35,000	356.0
1,000	217.2	15,000	307.6	40,000	364.4
2,000	234.5	20,000	321.7	45,000	372.9
4,000	255.3	25,000	334.5	47,450	377.5 (kritikus hő)

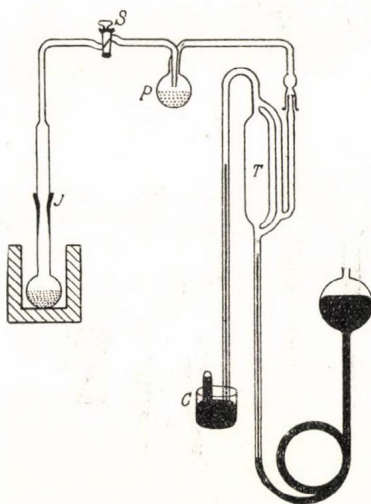
Ez adatokból számítva, a rádium-emanáció forráspontja (760 mm higanynyomás alatt) -62°C (211 abs.°) kritikus hőmérséklete $+104.5^{\circ}\text{C}$ ($377.5 \text{ abs.}^{\circ}$) és kritikus nyomása $47.450 \text{ mm} = 62.4$ légköri nyomás.

Gray és Ramsay, kísérleteik folyamán, mikroszkóp segítségével, megfigyelték a különböző hőmérsékleten megszűrődő rádium-emanáció színváltozását s azt tapasztalták, hogy a közönséges hőmérsékleten cseppfolyósodó emanáció majdnem színtelen, alacsonyabb hőmérsékleten ellenben, a lecsapódott emanáció, különböző színváltozásokat

szenved. E színjátékból, mely -71 C^0 -nál hirtelen fényessé válik, azt következtetik, hogy a rádium-emanáció olvadáspontja -71 C^0 körül van.

Rutherford, a leírt és egyéb kísérletek céljára, a rádium-emanáció megtisztítására, az alábbi két rajzban föltüntetett készülékeket használta. A 29. rajzon föltüntetett készülék, a rádiumos oldat befogadására szánt kis lombikból és egy azzal légzáróan összekötött, Töpler-féle légszivattyúból (T) áll. A rajzon P -val jelölt teke, a gáz szárítására félig foszforpentoxiddal volt megtöltve, a készülék C -vel jelölt része, kis gázbürettát jelez. A készüléket, a rádiumoldat betöltése után, légüresre szivatják s azután az (S) csapot elzárják. A rádium és bomlási termékeinek pozitív töltésű α - és negatív töltésű β -sugarai, a vizet hidrogén és oxigén gázra bontják. E gázok mellett,

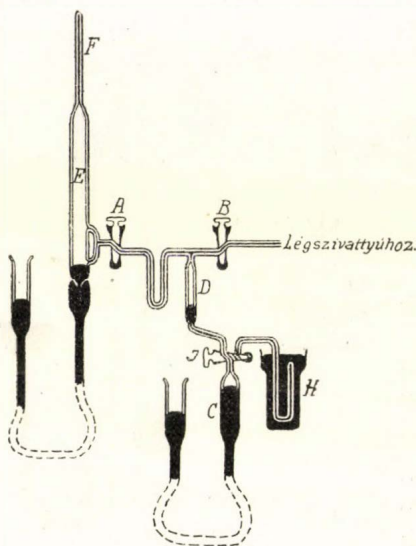
kis mennyiségű hélium, továbbá széndioxid és szénmonoxid keletkezik, mert a rádióaktív-sugarak hatására az oxigén a (J) köszörülés és (S) csap tömítésére használt zsiradékot oxidálja, miért is a kapott gázban, az oxigén viszonyos mennyisége mindig kisebb, mint amilyenek azt a vízben találjuk. Rutherford állítása szerint, 25 milligramm rádium vizes oldatából, hetenként, körül belül 30 cm^3 gáz keletkezik. Ha ebből kellő mennyiség gyűlt össze, úgy az (S) csapot megnyitják s a szivattyúban lévő higanyt, a higanyos teke sülyesztésével lebocsátják, amikor a lombikban lévő gáz egyrésze a szivattyúba jut. Ezt, az (S) csap bezárása után, a higanyos teke emelésével, a (C) gázbürettába szorítják át. E művelet többszöri megismétlése után, a nyomás kisebbedése következtében, a rádiumos oldat hevesen forrni kezd, ami a benne oldott emanáció és egyéb gázok eltávozását elősegíti, úgy hogy ily módon, az oldatban volt és a fölötte összegyűlt gázoknak majdnem teljes mennyisége a gázbürettába vihető át. A gázbürettában, villamos szikra átütésére, a szénmonoxid széndioxiddá és a hidrogén nagyobb része vízzé ég el. Az ily módon kis térfogatra összezsugorodott gázkeveréket, mely most már főtömegében széndioxidból, rádium-emanációból és héliumból áll, a 30. rajzon föltüntetett készülékbe szivatják át, e készülék, a kísérlet elején légüres s minden része higánnyal van megtöltve. A gáz átszivatása oly módon történik, hogy a gázbürettát, a (H) higanykádba merített, U -alakúra meghajlított üvegcső nyitott végére borítják. Ilyenkor a gáz, a (J) csap alkalmas fordítása és a (C) edénnyel össze-



29. rajz.

kötött higanytartály sülyesztése után, a (C) edényben gyülik össze. Innen a gáz, a csapok alkalmas fordításával és a higanytartályok emelésével és sülyesztésével, a (B) és (A) csapok között lévő, U-alakú csőbe szorítható át. Ezt cseppfolyós levegővel hűtik, amikor a rádium-emanáció, a nedvesség és a széndioxid lecsapódnak. Ezután a légszivattyúval, az (A) és (J) csap elzárásával és a (B) csap kinyitásával, az ezen hőmérsékleten nem sűrűsödő hidrogén és héliumgázt eltávolítják. Majd a (B) csapot elzárják, a cseppfolyós levegőt eltávolítják, és a higanyt (D) edényben annyira sülyesztik, hogy az elpárolgó emanáció, a (D) edényben lévő széndioxid és nedvesség elnyerésére szolgáló kalciumoxid és foszfor-

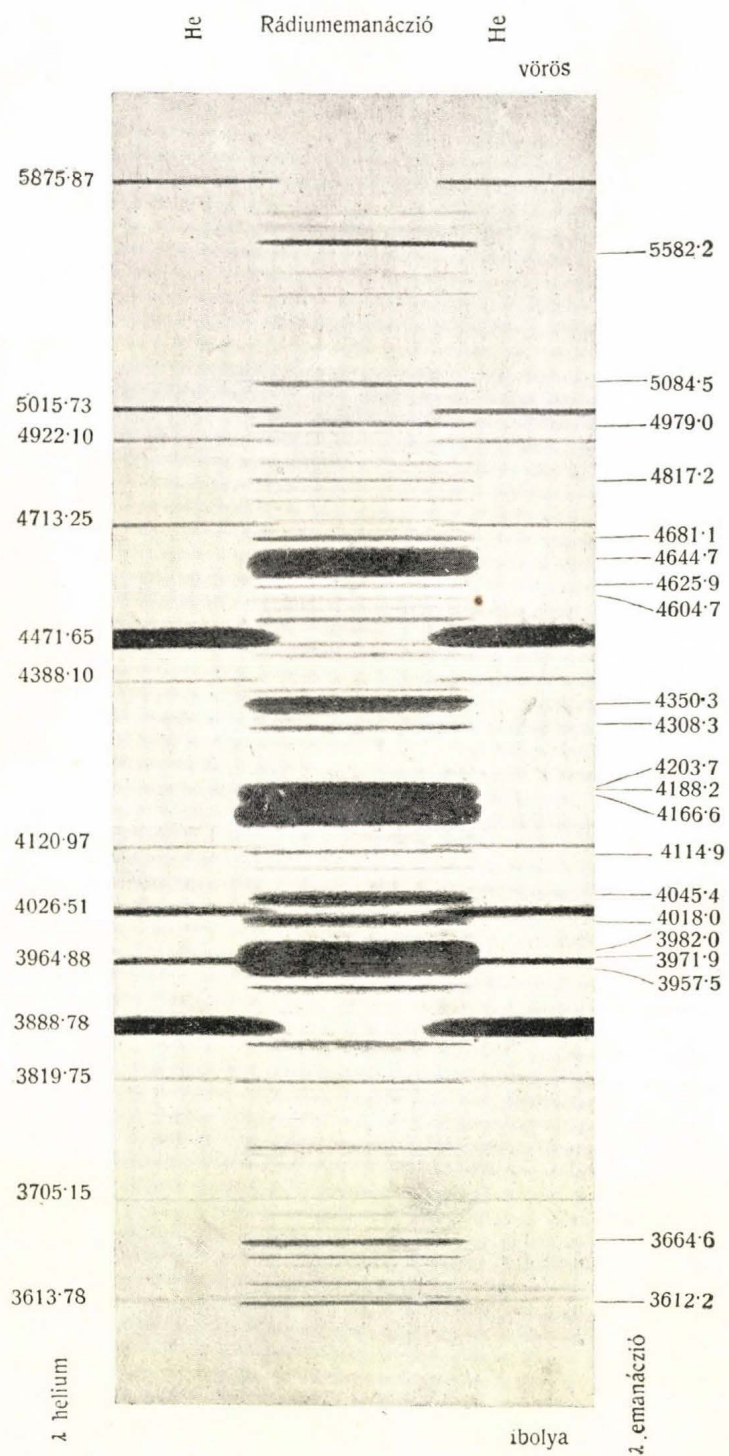
pentoxiddal érintkezzék. Ezután, hogy a hidrogént és héliumot még biztosabban eltávolítsák, a gázt újból az U-edénybe szorítják, azt ismételtelen lehűtik és a légszivattyút újból működésbe hozzák, majd a cseppfolyós levegő eltávolítása és a lecsapódott emanáció elpárolgása után, azt az (E) edénybe szorítják át. Az emanáció, az (E) edény felső végére forrasztott vékony kapillárisban, kis térfogatra szorítható össze. Ha a kapilláris csövekbe elektródokat forrasztanak, úgy az, az emanáció színeképének vizsgálatára is alkalmas. A készülék ez utóbbi részét, a különböző kísérleti célokra, különbözőképpen alakítják át.



30. rajz.

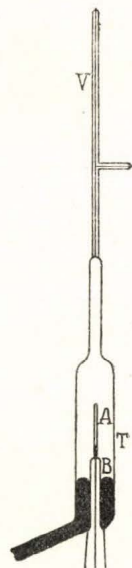
A rádium-emanáció színeképét először, 1904-ben Ramsay és Collie figyelték meg és 1908-ban Rutherford és Royd ezt lefényképezték (31. kép.) A kép középső részén, az emanáció színeképe látható, a kép két oldalán, összehasonlításként, a hélium színeképe van. A kép két oldalán jegyzett számok, a megfelelő vonalak hullámhosszát adják meg.

A rádium-emanáció színeképe, tisztán és jól, csak közvetlenül megtisztítása után látszik. Állásközben az mindinkább gyengül, egy hónap múltán teljesen eltűnik s helyette, a hélium színeképe tűnik föl. A hélium, a rádium-emanáció és bomlási termékeinek kilövellte α -részecskékből keletkezik. Hogy a hélium tényleg, a kilövellt α -részecskékből keletkezik, és nem az emanáció alakul át, egész tömegében azzá, Rutherford és Royds, a következő kísérlettel bizonyították be. A készülék (32. rajz) főrésze egy 1.5 cm hosszú, igen vékonyfalú, kapilláris cső (A), amely



31. kép.

egy vastagabb falú kapilláris csőre (*B*) van forrasztva. A kis cső falvastagsága olyan volt, hogy az α -részecskéket átbocsássa, de a levegő nyomásának ellentálljon. Leírásuk szerint, e cső falvastagsága $\frac{1}{100}$ milliméter volt. E csővecskébe nagyobb mennyiségű, megtisztított rádium-emanációt szorítottak és alulról higanynyal zárták el. E cső szélesebb üvegcsőbe (*T*) volt beforrasztva, amelynek felső részére kapillárist (*V*) s ebbe, a gáz színképeinek vizsgálatára, elektródokat forrasztottak. A külső csövet légüresre szívták s alulról higanynyal zárták el. A külső csőben, a higany színvonalát emelni vagy süllyeszteni, s így az abban idővel összegyűlt gázt, a felső kapilláriscsőbe sűríteni lehet. Rutherford és Royds leírása szerint, a spektrálcsővön átbocsátott szikrákon, a hélium sárga vonala, két nappal az emanációnak a készülékbe bocsátása után tűnt föl és hat nappal ezután, a hélium egész színképe már jól látható lett. Hogy a hélium tényleg, a belső csőben lévő emanációból, a vékonyfalú üvegen át lövellt α -részecskék révén került a külső csőbe, bizonyítja, hogy az abba helyezett cink-szulfidon, az α -sugarakra jellemző villogás látható volt. Azt, hogy az igen vékonyfalú üvegcsővecskén át nem diffundálódhatott a hélium, azzal bizonyították, hogy ha az emanációt eltávolítva, annak helyébe héliumot bocsátottak, ekkor a külső csőben, hetek mulván sem tudták a hélium jelenlétét kimutatni.



32. rajz.

A rádium-emanáció, közvetlenül a rádiumból keletkezik. A rádium és rádium-emanáció átlagos életkorának ismeretében kiszámíthatjuk, hogy a rádium adott mennyiségével, a rádium-emanációnak milyen mennyisége van egyensúlyban. Ezen adatot kísérletileg többen is megállapították, az első kísérletektől eltekintve, amelyek a számítottnál nagyobb adatot adtak, Rutherford, Debierne, továbbá Gray és Ramsay kísérleteinek középértékéből, az egy gramm rádiummal egyensúlyban lévő rádium-emanáció gáztérfogata, (0° -on, 760 milliméter barométer állás mellett) 0.6 köbmilliméternek adódik. Ez adat egyezik a számítottal.

A rádium-emanáció atómsúlyának megállapítását is többen kísérelték meg. A legtöbben az emanáció diffúziójának sebességét igyekeztek megállapítani, s abból számították a gáz molekulásúlyát. E kísérletek legtöbbje szerint, a rádium-emanáció molekulásúlya 100-nál kisebb. E szám azonban sehogysem egyezik a rádium-emanáció, elméletileg számított molekulásúlyával. Ugyanis, ha a rádium-emanáció, a rádiumból oly módon keletkezik, hogy a rádium egy atómja, egy héliumatóm kilövellése közben rádium-emanációvá alakul át, úgy ez utóbbinak atómsúlya 222 lesz. A rádium-emanációval végzett kísérletek azt mutatják, hogy az,

chemiai hatásokra nem szenved változást, ebből és egyéb körülményekből azt következtetik, hogy az, az argon-csoportba tartozó gázokkal rokon, tehát egy atómos gáz, ennél fogva molekulásúlyának is 222-nek kell lennie.

Az említettekkel ellentétben Gray és Ramsay, a rádium-emanáció sűrűségét közvetlenül, oly módon határozták meg, hogy ismert térfogatú gáz súlyát mérték meg. Gray és Ramsay, öt kísérlet adatából, a rádium-emanáció atómsúlyát: 227, 226, 225, 220, 218, középértékben 223-nak találták. Gray és Ramsay kísérleteiket, külön e célra készített kvarcz mikromérleggel végezték, és a mért emanáció súlya, $1/1000$ milligrammnál kevesebb és az emanációt magábazáró üvegcső súlya pedig, 30 milligramm körül volt.

A rádium-emanációt víz, kismértékben oldja. A rádium-emanáció oldhatóságát többen vizsgálták s azt tapasztalták, hogy ennek oldhatósága, mint a gázoké általában, a hőmérséklet emelkedésével csökken. A rádium-emanáció oldhatóságát, mivel azt rendszeren, csak sok levegővel elkeveredve nyerhetjük, nem határozhatjuk meg oly módon, mint a gázokét. A rádium-emanáció oldhatóságának meghatározása oly módon történik, hogy ismert mennyiségű emanációtartalmú levegőt, megmért mennyiségű és meghatározott hőmérsékletű vízzel rázogatnak, majd az egyensúly beállta után, meghatározzák a vízben oldott és a fölötté lévő levegőben visszamaradt rádiumemanáció mennyiségét.

Jelöljük v_1 -el a rázóedényben lévő levegő, v_2 -vel az ugyanabban lévő víz térfogatát. Legyen e_1 az egyensúly beállta után a levegőben és e_2 a vízben talált emanáció mennyisége, úgy e_1/v_1 és e_2/v_2 értékek, arányosak a levegő, illetve a vízben lévő rádium-emanáció töménységével és

$$\frac{e_2/v_2}{e_1/v_1} = \frac{e_2 v_1}{e_1 v_2} = \alpha$$

lesz a rádium-emanáció eloszlási hányadosa.

A rádium-emanáció eloszlási hányadosát (víz és levegő között), különböző hőmérsékleten, legutóbb 1911-ben Boyle R. W. határozta meg. Adatait, az alábbi táblázatban közöljük:

Hő- mérséklet	Eloszlási hányadosa α	Hő- mérséklet	Eloszlási hányadosa α
0 C°	0.507	20.3	0.250
4.3	0.424	26.8	0.206
5.7	0.398	31.6	0.193
10.0	0.340	34.8	0.176
14.0	0.303	39.1	0.160
17.6	0.280		

Boyle szerint, az eloszlási hányados tag határok között független, a víz fölött lévő gáz nyomásától és minőségétől.

Tömény sóoldatok a rádium-emanációt rosszabbul, az organikus oldószereknek legtöbbje azonban jobban oldja. Ez Boyle és Ramsdett E. kísérleteinek néhány adatából is kitűnik.

Oldósz e r	Eloszlási hányados α		
	18° C	0° C	—18° C
gliczerin	0·21	—	—
anilin	3·80	4·45	—
abszolút alkohol	6·17	8·28	11·4
aceton	6·30	7·99	10·8
etilacetat	7·35	9·41	13·6
paraffinolaj	9·20	12·60	—
benzin	12·82	—	—
xylol	12·75	—	—
toluol	13·24	18·40	27·0
kloroform	15·08	20·50	28·5
éter	15·08	20·90	29·1
hexan	16·56	23·40	35·2
szénkéneg	23·04	33·40	50·3

A petróleum is igen jól oldja a rádium-emanációt, ezért találnak a forrásokból előtörő petróleumban, tekintélyes mennyiségű rádium-emanációt.

A szilárd anyagok közül a kihevített faszén, különösen a kokuszszén, nagymennyiségű rádium-emanációt sűrít meg a felületén.

Egyrészt a rövidség kedvéért, másrészt, mivel a Mendelejev-táblázatban, önálló hely jelölhető ki a részére, ajánlották, hogy a rádium-emanációt röviden, csak *niton*-nak nevezzük. Ez elnevezés eddig, nem igen hódított.

A rádium-emanáció csakis α -sugarakat lövell ki. α -sugarainak hatótávolsága (15°-on 760 milliméter barométerállás mellett) 4·16 cm.

A rádió-emanáció rádióaktív állandóit Curiené és Rutherford, több kísérlet középértékéből, egymással egyezően, a következőknek találták:

átlagos életkora	$\Theta = 5·56$ nap
bomlási félideje	$T = 3·56$ nap
„ együtthatója	$\lambda = 2·85 \times 10^{-6}$ sec. ⁻¹

A rádiumtól elválasztott rádium-emanáció állandóan fogy és viszont az emanációjától megfosztott rádiumos készítményben, ha azt zárva tartjuk, a rádium-emanáció ismét felhalmozódik. Ha a rádium-emanációval kísérletezünk, úgy e körülményt számításba kell vennünk. A számítást, a fönti adatok alapján

$$\frac{I_t}{I_o} = e^{-\lambda t}$$

képletet végezhetjük. Az alábbi táblázatban, melyet a számítás megkönnyítése céljából, eredetileg Curie né állított össze, miután

$$I_t = I_0 [e^{-\lambda t}]$$

a fejen $e^{-\lambda t}$ -vel jelölt rovatban közölt számok, a rádiumtól elválasztott rádium-emanáció azon törtmenyiségét adják, amely az elválasztástól számított t idő múlva még bomlatlanul maradt. A fejen $1 - e^{-\lambda t}$ -vel jelölt rovatban közölt számok, a rádiummal egyensúlyban levő rádium-emanációnak azon törtmenyiségét adják, amely az emanációtól megfosztott készítményben, t idő múlva újra keletkezett. Pl. az alábbi táblázat szerint, ha $t = 6$ óra, úgy $e^{-\lambda t} = 0.9632$ és $1 - e^{-\lambda t} = 0.0368$. Eszerint, ha pl. 3 milligramm rádiumot tartalmazó oldatból, a vele egyensúlyban volt emanációt kiűzzük s elkülönített edényben fogjuk föl, úgy a kiűzéstől számított 6 óra múlva, az emanációt tartalmazó edényben, csak 0.9632×3 millicurie-emanáció lesz, az oldatot tartalmazó edényben pedig, 0.0368×3 millicurie-emanáció újra képződött.

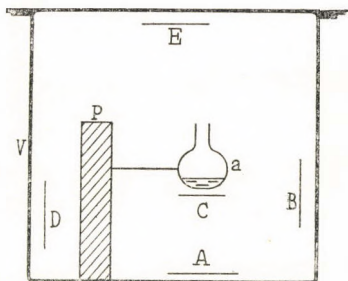
t	$e^{-\lambda t}$	$1 - e^{-\lambda t}$	t	$e^{-\lambda t}$	$1 - e^{-\lambda t}$
0 óra	1.0000	0.0000	7 nap	0.2837	0.7163
1 "	0.9925	0.0075	8 "	2369	7631
2 "	9851	0149	9 "	1979	8021
3 "	9777	0223	10 "	1653	8347
4 "	9704	0296	11 "	1381	8619
5 "	9632	0368	12 "	1153	8847
6 "	9560	0440	13 "	0963	9037
7 "	9489	0511	14 "	0805	9195
8 "	9418	0582	15 "	0672	9328
9 "	9347	0653	16 "	0561	9439
10 "	9277	0723	17 "	0469	9531
11 "	9208	0792	18 "	0392	9608
12 "	9139	0861	19 "	0327	9673
13 "	9071	0929	20 "	0273	9727
14 "	9003	0997	21 "	0228	9772
15 "	8936	1064	22 "	0191	9809
16 "	8869	1131	23 "	0159	9841
17 "	8803	1197	24 "	0133	9867
18 "	8737	1263	25 "	0111	9889
19 "	8672	1328	26 "	(2) 928	9907
20 "	8607	1393	27 "	(2) 775	9923
21 "	8543	1457	28 "	(2) 647	9935
22 "	8479	1521	29 "	(2) 541	9946
23 "	8416	1584	30 "	(2) 452	9955
1 nap	8353	1647	40 "	(3) 747	9993
2 "	6977	3023	50 "	(3) 123	9999
3 "	5827	4173	60 "	(4) 204	—
4 "	4868	5132	70 "	(5) 337	—
5 "	4066	5934	80 "	(6) 558	—
"	3396	6604	90 "	(7) 992	—

Az utolsó számjegyeknél, a zárójel közzé helyezett számok, a tizedes pont után következő és a közölt számokat megelőző 0-ák számát jelentik.¹

Mint a közölt táblázatból láthatjuk, 1 hónap leforgása alatt, a rádiumtól elválasztott rádium-emanációnak már csak mintegy 0·45%-a maradt elbomlatlanul s ugyanannyi idő alatt, az attól megfosztott rádiumos oldatban, annak 99·6%-a alakult vissza.

A rádium rádióaktív lerakódása. A rádium-emanációból rövid-életű, szilárd rádióaktív anyag keletkezik, mely az emanációt magába záró edény falára rakódik le. A rádióaktív lerakódás keletkezését, először Curiené észlelte s indukált rádióaktivitásnak nevezte el. Hogy a rádióaktívierakódás az emanációból és nem a sugarak hatására keletkezik, Curiené az alább leírt kísérlettel bizonyította be. Rádiumoldatot tartalmazó nyitott lombikot (33. rajz a)

tágasabb, fedett üvegedényben (V) helyezett el. A lombiktól oldalt, vastagabb ólomlemez (P) és annak különböző helyein, különböző anyagokból készült lemezeket (A, B, C, D, E) helyezett. E lemezek aktivitását, néhány nap múlva megvizsgálva azt tapasztalta, hogy azok aktivitása független attól, hogy azokat a sugarak mennyire érték; így például az ólomlemezről védett (D) lemez aktivitása, közelítőleg ugyanolyan volt, mint a sugarak hatásának leginkább kitett (E) lemez, független a lemezek minőségétől, de függ a lemez felületétől és a lemez körüli szabad tér nagyságától. Ugyanezt Rutherford oly módon bizonyította be, hogy a thoriumvegyületekkel (melyekből az emanáció könnyebben válik szabaddá) szembe helyezett lemez aktív lett, ha azonban a thoriumvegyület vékony alumíniumlemez volt lefedve, úgy hogy az emanáció a lemezt nem érthette el és így nem is aktiválódott.



33. rajz.

A rádióaktívierakódás keletkezésekor pozitív elektromos töltéssel bír. Ezért, ha az emanációt, nagyfeszültségű elektromos telep pozitív sarkával összekötött fémedénybe zárjuk, amelybe, az elektromos telep negatív sarkával összekötött fémrúd nyulik, úgy a rádióaktívierakódás főtömege, e fémrúdra rakódik le.

A rádióaktívierakódás keletkezésekor pozitív elektromos töltéssel bír. Ezért, ha az emanációt, nagyfeszültségű elektromos telep pozitív sarkával összekötött fémedénybe zárjuk, amelybe, az elektromos telep negatív sarkával összekötött fémrúd nyulik, úgy a rádióaktívierakódás főtömege, e fémrúdra rakódik le.

¹ Ha $e^{-\lambda t}$ értékét, a táblázatban nem közölt, valamely közbeeső időre akarjuk ismerni, úgy azt egyszerűen, a táblázatban közölt, két megfelelő érték szorzása útján kapjuk meg, így pl.: 12 óra múlva $e^{-\lambda t} = 0\cdot9136$ és 5 nap múlva $e^{-\lambda t} = 0\cdot4066$, tehát 5 nap és 12 óra múlva, $e^{-\lambda t} = 0\cdot9139 \times 0\cdot4066 = 0\cdot3716$.

Ha a rádium rádióaktívierakódásával bevont test sugárzásának változását vizsgáljuk, úgy azt tapasztaljuk, hogy e változás nem fejezhető ki egyszerű kitevős egyenlettel, s hogy a sugárzás változása más lesz, ha a bevont test rövidebb vagy hosszabb ideig volt kitéve a rádió-emanáció hatásának és más lesz, ha az α - vagy a β - vagy γ -sugárzás változását figyeljük meg. Ennek oka az, hogy a rádióaktív lerakódás nem egynemű. Ugyanis a rádium-emanáció közvetlen bomlási terméke a rádium A, ebből rádium B és emeből rádium C keletkezik. Ezek közül:

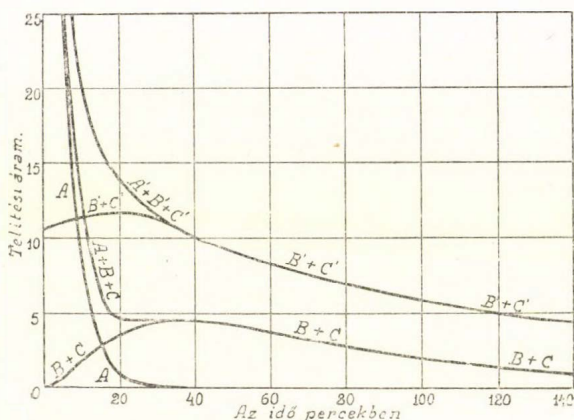
a rádium A α -sugarakat lövell ki és bomlási félideje 3 percz,

a rádium B lágy

β - és γ -sugarakat lövell ki és bomlási félideje 26·8 percz,

a rádium C α -, β - és γ -sugarakat lövell ki és bomlási félideje 19·5 percz.

Ha fémlemezt vagy fémcsodronyot csak igen rövid időre teszünk ki a rádium-emanáció hatásának, majd megfigyeljük a sugárzása okozta telítési áram változását,



34. rajz.

úgy, miután az α -sugarak erős ionizáló tehetsége mellett, a β - és γ -sugarak ionizáló tehetsége elenyészik, azt tapasztaljuk, hogy a kezdetben észlelt, meglehetősen nagy áram, közelítőleg a rádium A bomlási sebességével arányosan, rohamosan csökken és hozzávetőleg húsz percz alatt minimumánál egy ideig állandósul, esetleg gyenge növekedést mutat, majd körülbelül negyven percz multán ismét csökkenni kezd és két-három óra multán e változás körülbelül arányos lesz a rádium B bomlási sebességével, azaz, ez időtől kezdve az aktivitás félóránként (pontosan 26·8' alatt) csökken felére.

Ha a rádióaktív lerakódással bevont lemezre, hosszabb ideig hatott az emanáció, úgy ez némileg másként viselkedik; amennyiben a telítési áram változását feltüntető görbe kezdete, szintén rohamos csökkenést mutat, de nem ér el minimumot, hanem annak első szakasza fokozatosan megy át, az imént leírt görbéhez hasonló harmadik szakaszba.

E viselkedést a fönti, Rutherford-tól eredő 34. rajz teszi érthetővé. A rajzon az A-val jelölt görbe, a rádium A α -sugárzása okozta telítési áram változását szemlélteti. E rajz természetesen csak számítás eredménye és azt mutatja, hogy miként változnék a rádium A

α -sugárzása okozta telítési áram, ha annak bomlási végterméke inaktív volna.

A $B+C$ -vel jelölt görbe már kísérletileg is ellenőrizhető. Ilyen görbét kapunk, ha a rádium-emanáció hatásának rövid ideig kitett testet, vastagabb ólomlemezrel burkolunk és az azon átjutó γ -sugarak okozta telítési áram változását figyeljük meg. Az ólomburkon ugyanis a rádium A és rádium C α -sugara, valamint a rádium B lágy β - és γ -sugara nem jutnak át. A megfigyelés kezdetén rádium C még nincs a lemezen, tehát a rádium C kilővelte, az ólomlemezt átjárni képes γ -sugarak okozta vezetőképesség 0 . A lemezen fokozatosan több és több rádium C keletkezik, ezért az áram kezdetben mindaddig, amíg a három anyag közti egyensúly be nem áll, nő, ezután mindaddig, amíg még észlelhető mennyiségű rádium A van jelen, eleinte lassabban és végül, a három anyag közül leghosszabb életű rádium B bomlási sebességével arányosan csökkenni fog. Ugyanilyen természetű, a rádium B -ből keletkező rádium C α -sugárzása okozta telítési áram változása alapján, elméletileg megszerkesztett görbe is, azzal a különbséggel, hogy az α -sugárzás okozta telítési áram jóval nagyobb, mint γ -sugárzás okozta áram. A rajzon látható $B+C$ -vel jelölt görbét, elméletileg az α -sugárzás alapján szerkesztették meg. Az $A+B+C$ -vel jelölt görbe és az ahhoz csatlakozó $B+C$ görbe második része, a rádium-emanáció hatásának rövid ideig kitett test, α -sugárzása okozta telítési áram, ténylegesen észlelhető változását mutatja.

Ha valamely testre hosszabb ideig hatott rádium-emanáció, úgy azon már a megfigyelés elején, a rádium A mellett, rádium B és rádium C is van jelen. A rajzon $B'+C'$ -vel jelölt görbét, a $B+C$ -vel jelölt görbéhez hasonlóan szerkesztették, de azzal a különbséggel, hogy a megfigyelés kezdetén már jelenlévő rádium C sugárzására is tekintettel voltak. Az $A'+B'+C'$ -vel és a $B'+C'$ -vel jelölt görbének, ehhez csatlakozó folytatása, a telítési áram, ilyen esetben tényleg észlelhető változásának képét adja. A rajzban a görbék kiindulópontja és azok első része, miután azok, a megadott résznek, közelítőleg egyenes folytatásai, helykimélés céljából is elmaradtak. Megjegyzendő, hogy a telítési áram változását és így az abból szerkesztett görbe képét, az elmondottakon kívül, némileg még a mérőkészülék alakja és méretei is befolyásolják, ugyanis a rádium A α -sugarainak hatótávolsága valamivel kisebb, mint a rádium- C α -sugaraié s ezért e kétféle sugarak, a különböző méretű készülékekben, különböző mértékben ionizálják a levegőt.

A kismennyiségű rádióaktívierakódással bevont testek sugárzása okozta telítési áram, körülbelül egy nap alatt annyira lecsökken, hogy már alig, vagy egyáltalán nem tudjuk mérni. Ha azonban nagyobb mennyiségű rádium-emanációból, hosszabb idő alatt keletkezett rádióaktívierakódás okozta telítési áram változását figyeljük, úgy azt tapasztal-

taljuk, hogy az nem csökken le teljesen nullára, csak minimumot ér el és azután fokozatosan, lassú emelkedést mutat. Ennek oka, hogy a rádium *C* átalakulási terméke, a rádium *D*, csak igen lágy β - és γ -sugarakat lövell ki, amelyek ionizáló tehetsége olyan csekély, hogy az anyagot kezdetben sugártalannak tartották, amihez hozzájárult, az előbbiekhöz viszonyított, aránytalanul hosszú élettára (bomlási félideje 16·5 év). Ez a szintén csak csekély ionizáló tehetséggel bíró β - és γ -sugarakat lövellő, ötnapos bomlási félidővel bíró, rádium *E*-vé alakul át és csak az ebből keletkező rádium *F* lövell ki, a levegőt erősebben ionizáló α -sugarakat. A rádium *F* bomlási félideje 136 nap.

Az utóbb említett három rádióaktív anyag közül, a rádium *D* élettára aránytalanul hosszabb, mint az előbb említett három anyagé, de a rádium *E* és rádium *F* élettára is jóval hosszabb amazokénál, ezért ezeket egyítvéve, a rádium hosszúéletű rádióaktív lerakódásának, míg a rádium *A*, rádium *B* és rádium *C*-t együttesen, a rádium rövidéletű lerakódásának mondjuk. E megkülönböztetést azért is használjuk, mivel a zárt edényben tartott rádiumvegyületek, egy hónap lefolyása alatt, gyorsan bomló termékeivel, körülbelül egyensúlyba jutnak, még a lassan bomló termékei, csak hosszú idő múlva, lassan halmozódnak föl azokban. A rádiumvegyületek addig, míg gyorsan bomló termékeikkel egyensúlyban nincsenek, nem is kerülnek forgalomba, mert azok rádiumtartalmát, γ -sugárzásuk alapján határozzák meg. Ha közönségesen, a rádium γ -sugárzásról beszélünk, azalatt, az azzal egyensúlyban lévő rádium *C* kilövellte γ -sugarakat kell értenünk. Régibb rádiumkészítményeknél ezekhez, kismértékben a rádium *E* γ -sugarai is hozzájárulnak.

Rádium A. A rádium *A*, rádium-emanációból keletkező, szilárd anyag. Ma k o w e r tapasztalta, hogy platinasodronyra rakódott rádium *A*, ha kifeszített sodronyt, villamos árammal 800—900°-nyi hőmérsékletre hevíti s ezt fémcsővel veszi körül, úgy a rádium *A*, a sodronyról, a cső belsejére szublimálódik. Ebből azt következteti, hogy a rádium *A* szublimálási hőmérséklete 800—900° közé esik. Mások e hőmérsékletet magasabbnak találták. S c h r a d e r, az aktinium rádióaktív lerakódásaival végzett hasonló kísérleteket s azt tapasztalta, hogy azok klórgázban sokkal alacsonyabb hőmérsékleten szublimálnak, mint levegőn vagy hidrogéngázban. Ezekből, valamint a rádium rádióaktív lerakódásaival végzett kísérleteiből azt következteti, hogy a rádium *A* fönt megadott és általában a rádióaktív lerakódások eddig közölt, úgynevezett szublimálási hőmérséklete, nem felel meg a színrádióaktív anyag szublimálási hőmérsékletének, hanem, ha a kísérletet, levegő jelenlétében végezzük, úgy talált szublimálási hőmérséklet, a megfelelő anyag valamely oxidjának szublimálási hőmérséklete volna, ha a szublimálást klórgázban végezzük, úgy a kapott alacsonyabb adat, a klorid szublimálási hőmérsékletét adná.

A rádium *A*, rádióaktív állandó:

átlagos életkora	--- --- ---	$\Theta = 4.4$ perc.
bomlási félideje	--- --- ---	$T = 3$ perc,
„ együtthatója	--- --- ---	$\lambda = 3.78 \times 10^{-3} \text{ sec}^{-1}$

A rádium *A*, mint említettük, 4.75 centiméter hatótávolságú α -sugarakat lövell ki. Miután a rádium *A* a rádium-emanációból, egy α -sugár kilépése mellett keletkezik, atómsúlyát 218-nak számítják.

Rádium *B*. A rádium *B* szublimálási hőmérsékletét, levegőben Curie és Duane 600°-nak találták. Soddy szerint, ha egy, a rádium rádióaktív lerakódásával bevont sodronyt 630°-ra hevítünk és azt, hengeralakúlag meghajtott lemezzel körül vesszük, úgy arra tisztán rádium *B* szublimál, amely kezdetben, csak lágy β - és γ -sugarakat lövell ki, de amint rádium *C*-vé alakul, fokozatosan α -sugarak is jelentkeznek. Ha ilyen sodronyt, lemezzel vesszünk körül, úgy a lemezen, egy idő múlva a rádium *B* jelenlétét, akkor is megállapíthatjuk, ha a sodronyt egyáltalában nem is hevítettük. Ebből eleinte azt következtették, hogy a rádium *B*, kismértékben már közönséges hőmérsékleten is szublimál. Hahn és Meitner e jelenséget azzal magyarázzák, hogy a rádium *A* átalakulásakor keletkezett α -sugarak a tér minden irányában haladnak s meg lehetős mozgási energiával bírnak. Ha a rádium *A*, valamilyen szilárd testhez tapadt, úgy a szilárd test felé lövellt α -sugarak, miután útjukban akadályra találnak, az ellenhatás következtében, a képződött rádium *B*-t fogják eltaszítani. Hogy a rádium *B*-nek, közönséges hőmérsékleten való, látszólagos szublimálásának ez az oka, azzal is bizonyítják, hogy ez a jelenség csak addig tart, amíg rádium *A* van a sodronyon. Amint ez elbomlott, a rádium *B* látszólagos szublimálása megszűnik. E jelenséget egyébként, minden α -sugárzó anyag bomlási termékével megfigyelhetjük. Hahn és Meitner és mások, e jelenséget föl is használták, az α -sugárzó anyagok bomlási termékeinek elválasztására és az erre alapított eljárást, taszítási módszernek (*Rückstossverfahren*) nevezték el.

A rádium *B*-t, mint említettük, kezdetben olyan rádióaktív anyagnak tartották, mely sugárzás nélkül alakul át. Először Schmidt H. W. mutatta ki, hogy ez igen lágy β -sugarakat lövell ki (a sugarak felét 0.09 milliméter vastag alumíniumlap elnyeli), amelyek mellett kis számú, kemény β -sugarat is találni. Moseley és Makower vizsgálatai szerint, a rádium *B* igen lágy γ -sugarakat is lövell ki.

A rádium *B* rádióaktív állandói, Curiené vizsgálata alapján:

átlagos életkora	--- --- ---	$\Theta = 38.7$ perc,
bomlási félideje	--- --- ---	$T = 26.8$ perc,
„ együtthatója	--- --- ---	$\lambda = 4.33 \times 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$

Föltételezett atómsúlya 214.

Rádium C. A rádium C szublimálási hőmérséklete, levegőben 1100° körül van. Lerch szerint, tisztán úgy állíthatjuk elő, ha rádióaktív lerakódással bevont platinasodronyt, forró sósavba mártunk és az oldatot, finoman eloszlatott nikkelporral rázzuk; vagy ha abba, nikkellelítőleg rézlemezre mártunk, úgy reájuk, rádium C csapódik le.

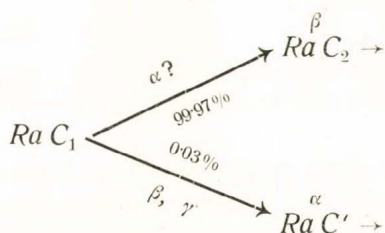
A rádium C, α -, β - és γ -sugarakat lövell ki. A legtöbb radioaktív anyag vagy csak α -, vagy β - és γ -sugarak kilövellése mellett alakul át, a rádium C-nél, hasonlóan a thórium C és aktinium C-hez, mindahárom sugárfajta együttes jelentkezése figyelhető meg; miből ezen anyagok összetett voltára következtettek. Hahn és Meitner, majd Fajans leírása szerint, a rádium C-ből, taszítási eljárással, egy 1.38 bomlási félidővel bíró, β -sugárzó radioaktív anyag választható el. Ez anyag nagyon kevés, mert az eltaszított anyagból kilövellt (a rádium C β -sugaraival körülbelül egyenlő keménységű) β -sugarak ionizáló tehetsége, az eredeti rádium C ionizáló tehetségének mintegy $\frac{1}{6000}$ -edszerese. Ez tehát egy új termék volna, melyet rádium C₂-nek neveztek el.

A rádium C₂ elválasztása után visszamaradt anyag azonban még mindig α -, β - és γ -sugarakat lövell ki, de a kilövellt α -sugarak hatótávolsága 6.94 centiméter. Ilyen nagy hatótávolságú α -sugarakat, Geiger és Nuttall tapasztalata szerint, csakis olyan radioaktív anyag lövellhet ki, melynek bomlási félideje, milliómod másodperc körül van. E szerint a rádium C mellett, még egy igen rövidéletű α -sugárzó radioaktív anyag van, amelyet, rendkívül rövid életkora miatt, attól nem választhatunk el. E föltételezett radioaktív anyagot, rádium C'-vel jelölik. Végül a rádium, thórium és aktinium C termékeinek tanulmányozásánál, azon következtetésre jutottak, hogy azok kettős átalakulást szenvednek és az egyik szakasz átalakulása α -, a másik szakaszé β -sugárzás közben történik. A kétféle átalakulás mindegyikének, külön átalakulási sebessége van és a kétféle átalakulási sebesség arányos, az átalakuláskor keletkezett, bomlási termékek mennyiségével.

Az elmondottak alapján, a rádium C átalakulási módjának magyarázata, a következő: A rádium C-nek nevezett anyag, rádium C₁-ből, rádium C₂-ből és rádium C'-ből összetett. Ezek közül a rádium C₁ kétféle átalakulást szenved és átalakulásának egyik szakasza β - és γ -, a másik szakasza α -sugarak kilövellése közben folyik. β - és γ -sugárzással, a rádium C₁-nek, körülbelül 99.97%-a, rádium C'-vé alakul át. A rádium C₁ átalakulása β - és γ -sugárzó szakaszának, bomlási sebessége, miután átalakulása, főként ebben a szakaszban folyik le, körülbelül ugyanolyan, mint a rádium C, kísérletileg megállapított átalakulási sebessége, tehát bomlási félideje, közelítőleg 19.5 perc. A rádium C'. 6.94 cm hatótávolságú α -sugarakat lövell ki, amiből bomlás félidejét, egy milliómod másodpercznek számíthatjuk. A rádium C₁ átalakulásának másik

szakasza, α -sugárzás közben történik és ebben a szakaszban, a rádium C_1 -nek csak 0.03%-a alakul át, a β -sugárzó rádium C_2 -vé.

E szakasznak bomlási félidejét, a keletkezett rádium C_2 mennyiségéből számítva, 6.5 napnak veszik. (E számítási módot részletesebben, a thorium C leírásával kapcsolatosan fogjuk megismertetni.) A második szakasz bomlási félideje 6.5 nap, a közben kilövellt α -sugarak hatótávolsága, Geiger és Nutt tapasztalata alapján, a 6.5 napos bomlási félidőből számítva, 3.9 cm. E sugarak jelenlétét, eddig nem sikerült kimutatni. Soddy szerint nehéz is, mintegy 0.03%-os, rövid hatótávolságú α -sugarat, 99.97%-os, tehát mintegy háromezerszer annyi, nagyobb hatótávolságú α -sugár mellett kimutatni, de hogy ez a szakasz α -sugárzás közben folyik, bizonyítja a rádium C-nek, a thórium C-hez és aktínium C-hez hasonló viselkedése, továbbá, hogy a rádium C_2 taszítási eljárással választható el, ami arra mutat, hogy ez α -sugárzás közben keletkezik. Az egész átalakulást, az alábbi vázlat szemlélteti.



A rádium C egyes alkotórészeinek sugárzó módja és rádióaktív állandói, a következők:

A rádium C_1 :

α -, β - és γ -sugarakat lövell ki.

α -sugara hatótávolsága 3.9 centiméter?

β -sugara felét elnyeli 0.5 mm vastag alumíniumlemez

γ - " " " 1.38 cm " ólomlemez

átlagos életkora --- $\Theta = 28.1$ perc,

bomlási félideje --- $T = 19.5$ perc,

" együtthatója --- $\lambda = 5.93 \times 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$

Föltételezett atómsúlya 214.0.

A rádium C_1 átalakulása két szakaszra oszlik, a β - és γ -sugárzó szakasz bomlási félideje körülbelül ugyanolyan, mint az egész átalakulásé, tehát a β és γ -sugárzó szakasz bomlási félideje, $T = 19.5$ perc, az α -szakaszé, $T = 6.5$ nap.

A rádium C_2 :

β -sugarakat lövell ki,
 β -sugarai felét elnyeli, 0.5 mm vastag alumíniumlemez,
 átlagos életkora --- $\Theta = 1.99$ percz,
 bomlási félideje --- $T = 1.38$ percz,
 „ együththatója --- $\lambda = 8.4 \times 10^{-3} \text{ sec}^{-1}$

Föltételezett atómsúlya (miután a rádium C_1 -ből α -sugárzás közben keletkezik), 210.

A rádium C' :

α -sugarakat lövell ki,
 α -sugarai hatótávolsága --- 6.94 ccentiméter
 bomlási félideje --- $T = 10^{-6}$ másodperc.

Föltételezett atómsúlya (miután a rádium C_1 -ből β - és γ -sugárzás közben keletkezik), 214.0.

Rádium D . A rádium D rádium C -ből, illetve C' -ből keletkezik. Ha nagyobb mennyiségű rádium-emanáció elbomlik, úgy az edény fala, rádióaktív lerakódással vonódik be, amely hosszabb idő múlva, főtömegében, a hosszú életű rádium D -vé alakul át. Ha az ilyen edényt salétromsavval kifőzzük és a főzetben kevés ólomnitrátot oldunk, majd az ólomnitrátot kikristályosítjuk, úgy az oldott rádium D javarésze, az ólomnitráttal kikristályosodik. Az ilyen ólomnitráton, kezdetben csak igen lágy β -sugarak, majd keményebb β - és γ -sugarak, még később α -sugarak is jelentkeznek, aszerint, amint a rádium D lassacskán rádium E -vé és rádium F -fé alakul át.

Miután a rádium D átlagos életkora, a rádium többi rádióaktív lerakódásaihoz képest, aránylag nagy, ezért belőle, észrevehető mennyiségnek kell az urániumszurokérczben fölhalmazódnia.¹ Tényleg Hoffmann és Strauss, 1901-ben fölfedezték az urániumszurokérczben, mielőtt még a rádium D -t ismerték volna. Nevezettek megállapították, hogy az urániumszurokérczből leválasztott ólomvegyületek, gondos tisztítás után, kezdetben csak igen gyengén sugárzanak, de idővel β - és γ -, majd α -sugárzás is észlelhető. Hoffmann és Strauss, az urániumszurokérczből leválasztott, aktív ólmot, *rádióólom*-nak nevezték el. Csak később mutatták ki, hogy az urániumszurokérczekből leválasztott ólomban levő rádióaktív anyag, azonos a rádium D -vel és az abban később jelentkező keményebb β - és γ -sugarak, a rádium E -ből; az α -sugarak pedig, a rádium F -ből erednek.

¹ Ha az uránium átlagos életkora 8×10^9 év, a rádium D átlagos életkora 23.08 év, úgy 1 tonna urániumra, 3 milligramm rádium D esik.

Megkísérelték a rádium *D*-t az ólomvegyületektől elválasztani, de a kísérletek meddők maradtak. E kísérletek szerint, a rádium *D* chemiailag teljesen úgy viselkedik, mint az ólom.

A rádium *D*-t kezdetben, sugártalanul átalakuló anyagnak vélték s csak később mutatták ki, hogy igen lágy β - és γ -sugarakat lövell ki. Mivel meglehetősen hosszú életkorú, rádióaktív állandóinak megállapítása meglehetősen nehéz. Rutherford, továbbá Meyer St. és Schweidler, nagyobb mennyiségű rádium-emanációból keletkezett rádióaktív lerakódás β -sugárzásának változását hosszabb ideig figyelve, megkísérelték a rádium *D* állandóit, ez alapon kiszámítani. Ez adatok, miután a különböző anyagok kilövellte β -sugarak ionizáló tehetsége különböző, aszerint, amint a kísérleti körülmények különbözők voltak, meglehetősen eltérő eredményt adtak, s a rádium *D*-nek bomlási félidejét, a különböző kísérletekből 12—40 évnek találták. Ez az oka, hogy az irodalmi adatok között, a rádium *D* rádióaktív állandóiként, meglehetősen különböző adatokat találunk. Antonoff vékonyfalú üvegcsőben, nagyobb, ismert mennyiségű rádium-emanációt zárt be s hosszabb idő múlva, amikor a bezárt rádium-emanáció és az abból keletkezett gyorsan bomló rádióaktív termékek, gyakorlatilag már teljesen elbomlottak, az időközben keletkezett rádium *F* α -sugarait megszámlálva, a kapott adatokból, a rádium *D* bomlási félidejét, 16·5 évnek találta. Ugyanilyen eredményre jutott Curiené, ki urániumsurokérczből, régebben leválasztott, olyan rádióólomnak, melyben a rádium $D + E + F$, egymással már egyensúlyba jutottak, α -sugárzása változását öt éven át figyelte. Curiené és Antonoff kísérletei alapján, a rádiumnak rádióaktív állandói:

átlagos életkora	...	...	$\Theta = 23\cdot08$ év,
bomlási félideje	...	...	$T = 16\cdot5$ év,
„ együtthatója	...	...	$\lambda = 1\cdot37 \times 10^{-9} \text{ sec}^{-1}$
Föltételezett atómsúlya	210.		

A közölt rádióaktív állandók alapján eszközölt számítások szerint, a rádium, körülbelül 100 év alatt jut, összes rádióaktív termékeivel egyensúlyba.

Rádium *E*. Ha régibb rádium *D*-készítmény oldatába, amelyben már rádium *E* és *F* halmozódott föl, nikkelmezt mártunk, úgy azon, főként rádium *E* válik le. A rádium *E*-t, megfelelő körülmények között, elektrolizissal is, elég tisztán nyerhetjük. Az elektromos áram hatására, a rádium *F* könnyebben válik le, mint a rádium *E* és ez ismét könnyebben, mint a rádium *D*.

A rádium *E* meglehetősen kemény β - és aránylag lágy, a rádium *C*-nél sokkal lágyabb, γ -sugarakat lövell ki. A rádium *E* kilövellte β -suga-

rak felét, 0.162 milliméter vastag aluminium-lemez nyeli el. Rádióaktív állandói:

$$\begin{aligned} \text{átlagos életkora} & \dots \dots \dots \Theta = 7.0 \text{ nap,} \\ \text{bomlási félideje} & \dots \dots \dots T = 4.85 \text{ nap,} \\ \text{„ együtthatója} & \dots \dots \dots \lambda = 1.66 \times 10^{-6} \text{ sec}^{-1} \\ \text{Föltételezett atómsúlya} & 210. \end{aligned}$$

Rádium F. Ha régi rádióólomkészítményből vagy nagyobb mennyiségű rádium-emanációból nyert rádióaktív lerakódás oldatába bizmutot, rezet vagy ezüstlemezt mártunk, úgy arra rádium *F* csapódik le. Ha az ilyen oldaton, *Antoff* szerint, a katód felületének egy-egy cm-ére számítva, 4 mikroampèrenél nem nagyobb sűrűségű áramot bocsátunk át, úgy a rádium *F*-et, elektrolizissal is leválaszthatjuk. Mivel, az uránium-érczekből leválasztott ólomnak elég tekintélyes mennyisége áll rendelkezésünkre és az abban levő rádium *E*-ből, állandóan keletkezik rádium-*F*, azt abból, kényelmesen előállíthatjuk.

A rádium *F* átlagos életkora 196 nap, tehát elég hosszú s így belőle, az urániumérczekben már észrevehetőbb mennyiség halmozódik föl.¹ Ez a körülmény, továbbá az, hogy ez anyag, az urániumérczek feldolgozásakor, a kénhidrogénnel nyert csapadékban válik le, tehát az urániumérczben levő, erősebben aktív anyagoktól elég könnyen elválasztható, de főként, mivel igen erős α -sugárzó tehetsége van, a rádium *F*, egyike az elsőnek fölfedezett rádióaktív anyagoknak. *Curiené*, amikor az urániumszurokércz összetételét vizsgálta, két új rádióaktív anyagot talált, amelyek közül a bárium mellett találtat rádiumnak, a másikat, amelyet a főtömegében ólomból, illetve bizmutból álló csapadékban talált, poloniumnak nevezte el. Nemsokára *Marcwald*, ugyancsak az urániumszurokérczből, kismennyiségű, főtömegében tellurból álló, igen erősen rádióaktív csapadékot választott le, amelyet rádiótellurnak nevezett el. A későbbi vizsgálatokból azután kiderült, hogy a *Marcwald*-féle rádiótellur, azonos a poloniummal s ez ismét azonos a rádium *F*-fel.

Nagyobb mennyiségű poloniumot, az urániumszurokérczből állíthatunk elő. Ha az urániumszurokércz földolgozásánál a kénhidrogénnel nyert csapadékot föloldjuk s abból a bizmutot, a szokásos eljárásokkal leválasztjuk, úgy amellet találjuk a poloniumot. Egy tonna joachimsthal urániumszurokérczből, körülbelül három kilogramm bizmutkloridot nyerünk. Ha ezt tömény sósavban oldjuk, majd víz hozzáadásával, apránként kicsapjuk, úgy a polonium főtömege, a bizmutoxidklorid első részletével válik le. Ha a bizmutklorid aktív részleteit sósavban oldjuk s az oldathoz stanoklorid-oldatot adunk, úgy igen kevés, főtömegében tellurból

¹ A rádium *F* és az uránium átlagos életkorára alapított számítás szerint, egy tonna fémurániumra, egyensúly esetén, 0.07 milligramm rádium *F* esik.

álló csapadék keletkezik s ebben van a polonium. Ha e csapadékot földoldjuk s az oldathoz hidrázinhidrátot adunk, úgy a tellur leválik, a polonium az oldatban marad s ebből, stanokloriddal leválasztható. Marckwald a leírt módon, két tonna urániumszurokérczből, négy milligramm, rendkívül aktív csapadékot kapott. E csapadék α -sugárzó tehetsége, Marckwald leírása szerint, olyan erős volt, hogy annak $1/100$ -ad milligrammja, az eléje tartott cinkszulfidos ernyőt, annyira megvilágította, hogy ez, egy nagy tanterem legtávolabb sarkában is, igen jól látható volt. A leírt jelenségnek oka, hogy a két anyag átlagos életkorából számítva, 1 gramm rádiummal, kerek számban 0.2 gramm polonium van egyensúlyban. Mint tudjuk, két α -sugárzó anyagnak egyensúlyban levő mennyisége, egyenlő számú α -részecskét lövell ki. E szerint, egy milligramm polonium, kerek számban annyi α -részecskét lövell ki, mint öt gramm tiszta rádium, vagyis, a polonium α -sugárzó-képessége kerek számban 5000-szer akkora, mint a vele egyenlő súlyú tiszta, bomlási termékeitől mentes rádiumé.

Curiené és Debierne, 1910-ben, több tonna urániumszurokérczből, gondos tisztítással, 2 milligramm, igen aktív poloniumcsapadékot állítottak elő, amely, számításuk szerint, 5% poloniumot tartalmazott.

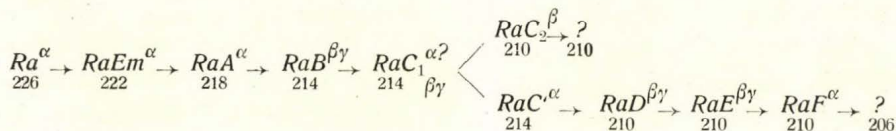
E készítmény színeképében több olyan vonal látható, amely az ismert elemek egyikének színeképében sem található meg. E vonalakat a poloniumnak tulajdonítják.

A polonium, kizárólag csak α -sugarakat lövell ki. E sugarak hatótávolsága, 3.85 centiméter.

A polonium rádióaktív állandói:

$$\begin{aligned} \text{átlagos életkora} & \dots \dots \dots \Theta = 196 \text{ nap,} \\ \text{bomlási félideje} & \dots \dots \dots T = 136 \text{ nap,} \\ \text{„ együtthatója} & \dots \dots \dots \lambda = 5.88 \times 10^{-8} \text{ sec}^{-1}. \end{aligned}$$

Az elmondottak alapján, a rádium átalakulási módját, a következő vázlattal tehetjük áttekinthetővé.



A rádium bomlási végterméke. A rádium átalakulási sorozatát, egészen a rádium F-ig, illetve a rádium C₂-ig tudjuk követni. Azt, hogy a poloniumból újabb rádióaktív anyag keletkeznék, eddig kimutatni nem sikerült. B o l t w o o d, már 1907-ben, azon körülményből, hogy az uránium-tartalmú ásványokban (egyes automitek kivéve) mindig találunk ólmot, továbbá, mivel a poloniumból, egy α -részecske kilövetése mellett keletke-

zett anyag föltételezett atómsúlya 206 és ezt a számot az ismert elemek közül, leginkább az ólom atómsúlya (207.2) közelíti meg, azt következtette, hogy a rádium bomlási végterméke az ólom. Noha a következtetést, kísérletileg eddig bebizonyítani nem sikerült, e nézet ma is tartja magát. A most uralkodó fölfogás szerint, a rádium C_2 szintén ólomá alakul át, noha annak föltételezett atómsúlya 210 és csak β -sugarakat lövell ki, tehát a belőle keletkezett anyag atómsúlyának ugyanilyennek kell lennie. Hogy a rádium átalakulási végterméke számított és az ólom tényleg talált atómsúlya közti különbséget miként magyarázzák, azt a könyv utolsó fejezetében fogjuk megismertetni.

A rádium meleg termelése. Nemsokára a rádium fölfedezése után tapasztalták, hogy a rádiumvegyületek, környezetüknél mindig melegebbek és hogy úgy a rádium, mint a többi rádióaktív anyagok, állandóan hőt fejlesztenek. A rádium hőfejlesztő tehetségét többen mérték s a kapott értékek kezdetben kisebbek voltak; később, amint a rádiumvegyületeket mindjobban meg tudták tisztítani, tisztítottságuk arányában, hőfejlesztőképességük is növekedett. Némiképpen változnak a kísérleti adatok aszerint is, amint a rádiumot egyszerűen üvegcsőbe zártan vagy még ólomlemezbe burkoltan helyezték a kaloriméterbe. Ugyanis, miként kísérletileg is kimutatták, a rádióaktív anyagok termelte meleg, főként onnan ered, hogy a kilövellt sugarak akadályokba ütközve, azok mozgási energiája, meleggé alakul. Miután az α -részecskék tömege aránytalanul nagyobb, mint a β -részecskéké, a termelt meleg legnagyobb része az α -sugaraktól ered; és mivel az α -sugarakat, már a közönségesen használt üvegcső fala is visszatartja, a termelt meleg legnagyobb részét már akkor észlelhetjük, ha a vizsgálandó anyagot egyszerűen üvegcsőbe zártan helyezzük a kaloriméterbe, ha a vizsgálandó készítményt vastagabb ólomlemezrel burkoljuk, úgy a keletkező meleg, miután az ólom a β -sugarakat is és a γ -sugarak egyrészét elnyeli, valamivel nagyobb lesz.

Meyer St. és Hess, akik a Hönigschmid-től gondosan megtisztított és az aktivitás mérésére, nemzetközileg egységgül elfogadott és Bécsben őrzött vízmentes rádiumkloridkészítmények hőfejlesztő tehetségét mérték, azt találták, hogy egy gramm, a gyorsan bomló termékeivel ($Ra + RaEm + Ra + RaB + RaC$) egyensúlyban lévő rádium, oly kísérleti berendezés mellett, amely az összes α - és β -sugarakat és a γ -sugaraknak mintegy 18%-át visszatartja, óránként 132.3 gramm kalóriameleget fejleszt, s ebből az egy gramm rádium, óránkénti összes hőfejlesztő tehetségét, tehát a nem abszorbeált γ -sugarak kinetikai energiáját is beleszámítva, 137 gramm kalóriányinak számították. Rutherford és Robinson adatai szerint, egy gramm rádium (gyorsan bomló termékeivel egyensúlyban) óránkénti hőfejlesztő képessége 135 gramm kalória.

Az a melegmennyiség, amit egy gramm rádium óránként fejleszt, összehasonlítva az egyes chemiai folyamatoknál fejlődő melegmennyiségével, meglehetősen kicsiny. De a reakcióhőkről közölt adatok azt a melegmennyiséget adják meg, amely aközben válik szabaddá, amikor valamely anyag adott egész tömegében egy másik anyaggá átalakul. Ha a rádiumnál is, az egyóra alatt fejlesztett meleg mennyisége helyett, azt a meleg mennyiséget számítjuk ki, ami annak teljes átalakulása közben válik szabaddá, úgy az fölülmulja, még a legnagyobb reakcióhőt is.

Az 51. és 52. oldalon közölt számítás szerint egy gramm rádium teljes átalakulásakor, kerek számban 3×10^9 grammkalóriányi meleget fejleszt.¹ Miután egy gramm szén eléégésénél, kerek számban 8×10^3 grammkalóriányi meleg keletkezik, a rádium átalakulásánál keletkezett meleg mennyisége, a szén eléégésénél keletkezett meleg mennyiségét, $\frac{3210^9}{8 \times 10^3} = 375,000$ -szer mulja fölül, vagyis egy gramm rádium, teljes átalakulása közben annyi meleg fejlődik, mint amennyi kerek számban 4 métermázsa szén eléégésekor válik szabaddá. Ezen összehasonlítás ne téveszszen meg bennünket. A rádium hőtermelő tehetségének gyakorlati jelentősége, már azért sem lehet, mert egy gramm rádiumnak az ára, körülbelül 600,000 korona, s így még ha módunkban volna, hogy a rádiumban rejlő energiát épp oly könnyen szabaddá tegyük s vele éppen úgy rendelkezni tudjunk, mint a szén kötött energiájával, úgy ez összehasonlíthatatlanul drágább volna, mint a szénből nyert energia.

Előnyösebb ez az összehasonlítás, ha az urániumban rejlő energiát hasonlítjuk össze, a szénből fölszabadulható energiával. Már egyszerű meggondolással is rájöhethünk, hogy az urániumban rejlő energiának, miután a rádium az urániumból keletkezik, nagyobbnek kell lennie, mint amennyit a rádiumban találunk. Az uránium azonban sokkal lassabban

¹ Ha a rádium teljes átalakulásakor keletkezett meleg mennyiségéről szólnak, úgy ezalatt azt a meleg mennyiségét kell értenünk, amelyet a rádium és annak összes rádióaktív bomlási termékei ($Ra + Ra\text{ Em} + Ra\text{ A} + \dots + Ra\text{ F}$), együtt fejlesztenek. A fönti számításnak alapját az a kísérleti alap képezte, hogy egy gramm rádium óránként 135 grammkalóriányi meleget fejleszt. De, mint említettük, ez csak a gyorsan bomló rádióaktív termékeivel egyensúlyban lévő rádiumra vonatkozik. Azt, hogy az összes bomlási termékeivel egyensúlyban lévő rádium milyen meleg mennyiséget fejleszt, eddig, miután ilyen rádiumos készítmény még nem áll rendelkezésünkre, kísérletileg megállapítani nem lehet. Számításaink szerint, ez az érték körülbelül 20%-kal nagyobb a közölténél. A fönti számításunk tehát, alapjában véve hibás, illetve a számítás alapjául vett érték, mintegy 20%-kal kisebb a ténylegesnél. De akkor, amikor e számítási módot ismertettük, még nem szólottunk a rádium egyes bomlási termékeiről, s ezért a könnyebb megérthetőség kedvéért, a számítás alapjául egyszerűen, a kísérletileg talált értéket vettük, s miután a fönti számítást erősen kikerekített számokkal végeztük, azt ugyancsak az egyszerűség kedvéért, az ott kapott számértékkel folytattuk.



alakul át, mint a rádium, ezért az időegység alatt, az urániumból sokkal kevesebb energia szabadul föl, mint a rádiumból. Az uránium hőfejlesztő tehetőségét, éppen azért bajos kísérletileg megállapítani, de közelítőleg ki tudjuk számítani. Mint említettük, a rádióaktív anyagok hőtermelőtehetsége főként az α -sugarak mozgási energiájából ered. Tudjuk, hogy az uránium és átalakulási termékei (ideszámítva a rádiumot és bomlási termékeit), együttesen 8 α -sugárcsoportot lövellnek ki. Az egyes α -sugárcsoportok hatótávolságát ismerve, közelítő pontossággal kiszámíthatjuk, az urániumból és a vele egyensúlyban lévő rádiumból fölszabaduló meleg mennyiséget. Rutherford számítása szerint, egy gramm rádiummal egyensúlyban lévő uránium, óránként 7.2×10^{-5} grammkalória meleget fejleszt. E melegmennyiség ugyan nagyon kicsiny, de ha az uránium rendkívül hosszú életkorára vonatkoztatjuk, úgy egy gramm urániumból, egész tömegének inaktív anyaggá való alakulása közben fölszabaduló meleg mennyisége, kerek számban 5×10^9 grammkalóriányi, tehát kerek számban 6 métermázsa szén elégésénél keletkezett meleg mennyiségével egyenlő. Ezek szerint az urániumban rejlő energiamennyiség, tekintve, hogy az urániumnak tekintélyes mennyisége található földünkön, a szén égésekor nyert energiának hatalmas versenytársa lehetne, ha tetszésünk, helyesebben szükségünk szerint tehetnők szabaddá; de az eddigi tapasztalataink szerint, a rádióaktív folyamatokat sajnos, sem gyorsítani, sem hátráltatni nem tudjuk.

A rádium és a föld melege. E fejezet elején közölt táblázatokból, ha a működő vulkánok lávájában és a jelenkorú tengeri üledékekben talált rádium mennyiségétől eltekintünk¹ s az adatok középértékét a földkéreg átlagos rádiumtartalmaként elfogadjuk, úgy a földünk felületét borító kőzetek átlagos rádiumtartalmaként, egy gramm kőzetre számítva 2.6×10^{-12} g-t kapunk. A rádiumnak ezen mennyiségével, kerek számban $2.6 \times 10^{-12} \times 3 \times 10^{-6} = 7.8 \times 10^{-6}$ g uránium áll egyensúlyban. De Rutherford számításai szerint, 1 g (rádiummal egyensúlyban levő) uránium óránként 7.2×10^{-5} grammkalóriányi meleget fejleszt, ennél fogva az urániumnak, föntebb közölt mennyisége, órán-

¹ A lávában és a tengerfenéki iszapokban, mint a táblázatokból kitűnik, aránylag több rádiumot találnak, mint a velük egyenlő összetételű, régibb korú kőzetekben. Ennek oka az lehet, hogy e kőzetekben a rádium még nincs egyensúlyban, a bennük levő urániummal. Ugyanis a tapasztalat azt mutatja, hogy ha valamilyen ősi kőzetet külső hatás megbolygat s az helyét változtatja, úgy az azokban levő rádium aránylag könnyebben vándorol, mint az uránium. Lehetséges, hogy ez az oka a most is keletkező üledékek és lávák nagyobb rádiumtartalmának. Ezek rádiumtartalma tehát most még nagyobb, mint a mennyi a bennük lévő urániumnak megfelel. Miután az említett adatokból kiinduló számítás alapját, a rádiummal egyensúlyban levő uránium képezi, a számításból a láváról, és az üledékről közölt adatokat kihagytuk.

ként $7.8 \times 10^{-6} \times 7.2 \times 10^{-5} = 5.6 \times 10^{-10}$ grammkalóriányi meleget fejleszt.

Joly vizsgálatai szerint a föld kérgének átlagos thoriumtartalma — a kőzetek egy grammjára számítva — 1.2×10^{-5} gramm. Egy gramm (átalakulási termékeivel egyensúlyban lévő) thorium Rutherford számítása szerint, óránként 2.5×10^{-5} grammkalóriányi meleget fejleszt, ennél fogva a thorium fent közölt mennyisége $2.5 \times 10^{-5} \times 1.2 \times 10^{-5} = 3 \times 10^{-10}$ s így az 1 g kőzetben átlagosan talált uránium és thorium összes mennyisége, óránként $5.6 \times 10^{-10} + 3 \times 10^{-10} = 8.6 \times 10^{-10}$ grammkalóriányi meleget fejleszt. Ha a föld felületét borító kőzetek átlagos fajsúlyát 2.7-nek vesszük, úgy e kőzetek egy köbczentiméterében talált uránium és thorium óránként termelte meleg $8.6 \times 10^{-10} \times 2.7 = 2.3 \times 10^{-9}$ grammkalóriányi lesz.

A bányászok és geológusok tapasztalata szerint, a föld belseje felé haladva, annak hőmérséklete, átlagosan 35 méterenként 1° -kal emelkedik. Ez adatból a földkéreg hőgrádiense, vagyis hőmérsékletének emelkedése, a mélység felé haladva, centiméterenként $T = 1/3500 = 0.00029^\circ$.

Azon melegmennyiséget, Q -t, amelyet a földfelületének minden négyzetcentimétere, másodpercenkénti kisugárzása következtében veszít,

$$Q = TK$$

egyenlettel számíthatjuk ki, ahol K , a földet borító kőzetek átlagos hővezetőtehetségét jelenti. Számítalan mérés középpértéke szerint $K = 0.004$. Tehát a földünk felületének minden cm^2 -e, másodpercenként $2.9 \times 10^{-4} \times 4 \times 10^{-3} = 1.16 \times 10^{-6}$ és óránként 4.2×10^{-3} grammkalóriányi meleget veszít.

A földkérgében talált rádióaktív anyagok, állandóan meleget termelnek. Ezzel szemben a föld, hősugárzás következtében, meleget veszít. Hogy e két folyamat egymást kiegyenlítse, elegendő, hogy a földkéreg rádium-, uránium- és thoriumtartalma $\frac{4.2 \times 10^{-3}}{2.3 \times 10^{-9}} = 18 \times 10^5$ centiméter = 18 kilométer mélységig, a számításunk alapjául szolgáló mennyiségnek megfeleljen.

A fentiekhez hasonló következtetésre jutottak: Elster és Geitel, Himstedt, Strutt, Joly és mások. Joly, akitől a számítási menetet átvettük, a maga végezte kísérleti adatokra támaszkodva, a kőzetek átlagos rádiumtartalmát valamivel kisebbnek veszi, mint amennyinek mi azt megadtuk s számítása szerint körülbelül 20 kilométer mélységig kell a földkéreg rádium- és thoriumtartalmának, olyannak lennie, mint amilyenek, közvetlenül a föld felületén találta. Megjegyzendő, hogy a thorium kis mennyiségeinek, mennyiségi meghatározása, miként azt, a thoriumról szóló fejezetben, részletesebben ki fogjuk fejteni, sokkal nehezebb feladat, mint a rádium mennyiségének meghatározása,

másrészt az egyes kőzetek rádiumtartalmáról szóló adatok száma, tekintve, hogy a régiebb adatok többé-kevésbé mind hibásak, még kevés ahhoz, hogy a föld felületének átlagos rádiumtartalmát pontosabban megadhassuk. Annyi azonban az eddigi kísérletekből egészen bizonyosnak látszik, hogy a földkéreg átlagos rádiumtartalma, a kőzetek egy grammjára számítva, 10^{-12} gramm körül van és hogy annak thorium- és urániumtartalma körülbelül egyenlő. Ha az utóbbi adatot vesszük alapul, akkor körülbelül 50 kilométer mélységig kell a földkéreg rádiumtartalmának ilyennek lennie, hogy az a rádióaktív anyagok termelte meleg, a hőszugárzás következtében szenvedett veszteséget pótolja. Végeredményben azonban nem az a fontos, hogy 20 vagy 100 kilométeres földréteg rádiumtartalma kell a föld hővesztességének pótlásához, a lényeges, hogy e számításból az tűnik ki, hogy a föld sugarához képest (kerek-számban 6400 kilométer) a föld kérgének rádiumtartalma csak kis mélységig lehet olyan, mint amilyenek azt a föld felületén találjuk, tehát a Föld belsejében egyáltalában nincsenek rádióaktív anyagok, vagy legalább is a föld felületén levőkhöz képest, csak elenyésző kis mennyiségben lehetnek ott azok, mert ellenkező esetben a földünknek fokozatosan melegednie kellene, ami ellentmondásban volna, az összes eddigi tapasztalásainkkal.

Iménti következtetés egyébként megegyezik, a csillagászok és geológusok számításával, amely szerint a föld kérgének más összetételűnek kell lennie, mint amilyen a föld belseje; de ellentmondásban van egyeseknek ama nézetével, hogy a hőforrások vizében található, az átlagosnál nagymennyiségű rádium-emanáció, a föld belsejéből ered.

A fentemlített kísérletekből és az arra alapított számításból, a rádiumot szolgáltató urániumszurokércztellérek keletkezésére is következtetést vonhatunk, ugyanis S u e s s E., nemrég meghalt bécsi geológus, az ércztellérek legtöbbjét magmás eredetűnek tartja. S u e s s e véleményét főként arra alapítja, hogy a fémek klór, fluór és bór vegyületei a legillékonyabbak, s ez anyagokat a vulkános gőzökben is megtaláljuk. Nézetének megerősítését látja abban, hogy az ércztelléreknek, a Föld felületéhez legközelebb eső végét, igen gyakran önvegyületek alkotják, szavajárása szerint, ónsisak borítja. E jelenségnek magyarázata, az önvegyületek legnagyobb illékonyságában volna. De, miként az urániumról szóló fejezetben említettük, az urániumszurokérczre legtöbbször a régen felhagyott ezüst- és ónbányákban akadnak. Az uránium azonban, a leírtak szerint nem lehet magmás eredetű, kérdéses tehát, hogy a telléreknek az urániumvegyületeket követő folytatása ilyen lehet-e?

Nem akarjuk ezzel azt állítani, hogy az urániumszurokércztellérek keletkezése, vulkános működéssel semminemű összefüggésében nem lehet. A vulkános működés mindenestre hozzájárulhat a tellérek keletkezé-

séhez, amennyiben ez a szomszédos földkérget erősen fölmelegíti s a fölmelegedett víz erősebben bontja a kőzetet, mint a hideg víz, másrészt, a kőzetek elbontásához a vulkános gőzök is nagymértékben hozzájárulnak, de maga az uránium nem jöhet a föld belsejéből. Az urániumszurokércztellérek, rendszerint gránitokból indulnak ki s az egyes gránitfajták rádiumtartalma meglehetősen nagy, valószínű, hogy az urániumszurokércz a gránit elbontásakor keletkezik, s benne, valamint a szomszédos kőzetek repedéseiben tellérekké lerakódik.

A rádium és a föld életkora. Az α , β - és γ -sugarak felfedezése után nemsokára következették, hogy az α -részecskék nagy sebességgel kilövellt hélium atómokból állanak. Hogy a rádium-emanációból hélium keletkezik, Rutherford és mások, már leirt kísérletei bizonyítják. A rádium egy grammjának, másodpercenként kilövellt α -sugari számából kiszámíthatjuk, hogy a rádiumnak adott mennyisége, meghatározott idő alatt mennyi héliumot termel. Rutherford számítása szerint egy gramm, gyorsan bomló termékeivel egyensúlyban lévő rádiumból egy év alatt, 158 mm^3 hélium keletkezik. E számítást kísérletekkel Dewar J., Boltwood és még Rutherford is ellenőrizték. Az előbbinek kísérletei szerint egy gramm rádiumból, ($Ra + Ra \text{ Em} + Ra A + Ra B + Ra C$) évente 169 , az utóbbiak szerint 156 mm^3 hélium keletkezik. A többi rádióaktív anyag közül, az aktiniumról Debierne, a poloniumról Curiené és Debierne, azonkívül Boltwood és Rutherford, az ióniumról Boltwood mutatták ki, hogy héliumot termelnek.

Miután Rutherford számítása szerint, egy gramm, átalakulási termékeivel egyensúlyban lévő uránium évente, $1.1 \times 10^{-4} \text{ mm}^3$ és egy gramm átalakulási termékeivel egyensúlyban lévő thorium, $3.1 \times 10^{-5} \text{ mm}^3$ héliumot termel; az olyan régibb korú uránium- és thoriumtartalmú ásványokban, amelyeknek szövete elég tömött, hogy a keletkezett héliumot visszatartsa, nagyobb mennyiségű héliumnak kell lennie és a bennük talált hélium mennyiségének, ha az csak uránium- és thoriumból keletkezett, és belőle semmi sem vészett el, arányosnak kell lennie, egyrészt az ásvány életkorával, másrészt annak uránium és thorium tartalmával.

Közbevetőleg megjegyezzük, hogy a héliumot Ramsay, az uránium- és thoriumtartalmú ásványokban fedezte föl. Ugyanis, amikor lord Raylaig és Ramsay az argont fölfedezték, az utóbbinak figyelmét felhívták Hillebrande egyik közleményére, ki egyes, Amerikában talált uránium- és thoriumtartalmú kőzetekben bezárva, nagyobb mennyiségű gázt talált, amit nitrogénnek tartott. Ramsay az ásványok vizsgálásakor azt találta, hogy a belőlük nyerhető gáz nem nitrogén, de szinképe nem egyezik teljesen, az akkor még egyneműnek tartott, ritka gázok keverékének szinképével sem, ellenben a színekép legfényesebb

vonala, teljesen megegyezik azzal, amelyet 1868-ban Lockyer, a nap színekében fedezett föl, amelyről azt tartotta, hogy az a földünkön nem található elemtől származik, melyet a Napról héliumnak nevezett el.

Már a héliumnak a rádióaktív ásványokban való fölfedezése is mutatja, hogy e kőzetekben található rádióaktív anyagok és a hélium között valami összefüggésnek kell lennie.

A rádióaktív ásványok kora és héliumtartalma közti összefüggést Strutt-nak, az alábbi táblázatban közölt néhány kísérleti adata mutatja. A táblázat első oszlopa, az ásványt hordó rétegek geológiai korát, a második oszlopa, az ásványban talált hélium, a harmadik az urániumoxid, a negyedik a thoriumoxid mennyiségét adja meg. Az ötödik oszlopban, az ásványokban talált uránium és thorium összegét adjuk meg oly módon, hogy a thorium, a vele egyenlő mennyiségű héliumot termelő urániumra van átszámítva. Az ötödik oszlop, az $\frac{\text{összes uránium}}{\text{hélium}}$ arányszámát mutatja:

I. Geológiai kor	II. hélium $\text{cm}^3 \times 10^{-4}$	III. U_3O_8 $\text{g} \times 10^{-4}$	IV. ThO_2 $\text{g} \times 10^{-3}$	V. $\text{U}_3\text{O}_8 + \text{aequ. ThO}_2$ $\text{g} \times 10^{-4}$	VI. $\frac{\text{összes } \text{U}_3\text{O}_8}{\text{hélium}}$
terciér	< 0.4	38.0	—	38.0	< 0.01
„	0.807	3.17	8.0	3.62	0.223
„	1.14	12.7	0.0	12.7	0.090
„	2.12	3.72	0.0	3.72	0.570
késői devon	98.8	13.3	32.7	20.00	4.94
palaeozoos	193.0	12.8	11.4	15.1	12.8
„	255.0	12.9	30.1	19.0	13.4
„	300.0	6.34	46.5	15.8	19.0
„	323.0	10.8	1.32	11.1	29.2
archaei	114.0	1.83	0.92	2.02	56.6

A táblázat első és utolsó rovatában közöltek, az ásvány kora és héliumtartalma között határozott összefüggést mutatnak, de az adatok Strutt szerint nem alkalmasak, hogy belőlük, a keletkezésük óta eltelt időre következtethessünk, mert a vizsgálati anyagok nem voltak elég tömörek, hogy a hélium egész mennyiségét visszatarthatták volna. Szerinte a rádióaktív ásványok legtöbbször szövetek olyan, hogy a keletkező hélium nagyobb része elillan. Csak kevés megfelelő ásványt talált, ezek uránium-, thorium- és héliumtartalmából számítva:

Az oligocén kora óta 8 millió év
 az eocén „ „ 31 „ „
 a karbon „ „ 150 „ „
 az arhasi „ „ 710 „ „

telt el.

A közölt adatok, természetesen csak az esetre lehetnek teljesen megbízhatók, ha a vizsgált ásványokban talált hélium, csak az uránium- és thoriumból keletkezett, továbbá, ha a hélium egész mennyisége bennük meg is maradt. Strutt több olyan ásványt talált, amelyek héliumtartalma sokkal nagyobb volt, mint amennyi a bennük talált rádióaktív anyagok után várható volt. Különösen feltűnő, hogy egyes, a föld legkülönbözőbb helyeiről beszerzett berylliumtartalmú ásványokban, a rádióaktív anyagok rendkívül csekély mennyisége mellett, aránylag sok héliumot talált. E jelenséget úgy magyarázza, hogy az ásványok keletkezésekor azokban, az uránium- és thoriumnál, rövidebb életű rádióaktív anyagok, talán rádium vagy mezothorium rakódtak le, amelyek időközben elbomlottak s belőlük keletkezett hélium maradt vissza.

A közölteknél kevésbbé megbízhatók, Holmes-nek, az ásványok uránium és ólom tartalmára alapított számításainak, következő adatai:

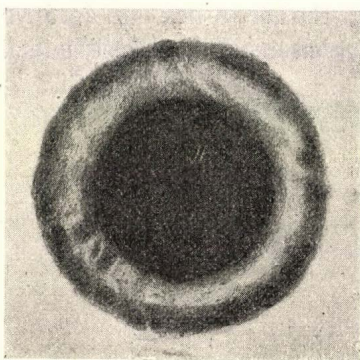
A rétegek geológiai kora	Pb/U	A rétegek képződése óta eltelt millió év
<i>karbon</i>	0·041	340
<i>devon</i>	0·045	370
<i>silur</i>	0·050	410
<i>praecambrium</i> :		
Svédországból	0·125	1025
"	0·155	1270
Egyesült-Államokból	0·160	1310
" "	0·175	1435
Ceylonból	0·200	1640

Ez adatok az egyes rétegek korát jóval nagyobbban adják meg, de megbízhatóságuk még kisebb, mert az egyes ásványok ólom- és uránium-tartalma közti összefüggés, még egyáltalában nincs tisztázva.

A rádium sugarai és a testek színváltozása. Az edények színe, amelyekben rádiumot vagy más erősebben aktív anyagot tartunk, rövidebb vagy hosszabb idő multán megváltozik. A közönséges nátrontüveg, aránylag rövid idő alatt ibolyaszínűvé válik. Erősebben aktív készítmény hosszabb idejű hatására, az üveg feketére színeződik. Más üvegfajták sárga- vagy barnaszínűekké lesznek. Leggyorsabban hatnak az α -sugarak, de ezek csak kis mélységig festik meg az üveget. Sokkal lassúbb, de nagyobb mélységig terjed a β - és a γ -sugarak hatása. A fön-
tiekhez hasonló színváltozást észlelünk, a hosszabb ideig használt Röntgen-lámpákon is. E színeződés, a rádióaktív anyag eltávolítása után, a napfény, de különösen az ibolyántúli sugarak hatására, legtöbbször eltűnik, úgy-

szintén akkor is, ha az üveget vörösizzásig hevítjük. Egyes kvarczfajták is színeződnek. Ezek festődése, többnyire sugaras szerkezetű. Némely kvarczfajtákra a sugarak nem hatnak. Úgy látszik, hogy a színeződést, a kovasavban lévő idegen anyagok elősegítik. Az olvasztott kvarczból készült edények a rádióaktív anyag hatására törékenyekké válnak. Konyhasó a rádióaktív anyagok hatására kékeszöld színt vesz föl. Elster és Geitel, abból a körülményből, hogy a rádium sugaraitól megfestett alkáli fém-sók, fotoelektrikus tulajdonságokat nyernek, mivel szerintük az alkáli fémek ugyanilyen tulajdonsággal bírnak, azt következtetik, hogy az alkáli fémvegyületek színeződése onnan ered, hogy a sugarak hatására fém válik szabaddá, amely a vegyületben szilárdan oldódik. A rádióaktív

anyagok sugarainak hatását a különböző ásványokra Dölter tanulmányozta behatóbban.



35. kép.

A csillámlemezekben gyakran találunk kis fekete pontokat, amiket a nagyító többnyire gömbalakúnak mutat. A gömb közepén mikroszkópi nagyságú kristály s körülötte sötétebb és világosabb udvarok figyelhetők meg. Joly megfigyelése szerint, a gömb belsejében látható kristály, mindig valamilyen rádióaktív anyag és a gömb körül képződött udvarok száma, sötétsége és sugara, a rádióaktív anyag

milyenségétől és mennyiségétől függ. Ha a csillámban lerakódott rádióaktív anyag mennyisége nagyon csekély, úgy csak egy, aránylag világos udvar figyelhető meg, s ennek sugara, a kilövellt legkisebb hatótávolságú α -sugár hatótávolságával arányos. Ilyenkor ugyanis csak az a tér van láthatóan megfestve, melyen az összes α -sugarak áthaladnak. Joly szerint, az uránium és ionium α -sugarai 0.013 mm, a rádium C α -sugarai 0.033, a thorium C legnagyobb hatótávolságú α -sugarai 0.04 mm-es sugarú körben festik meg a csillámlemezt.

A 35. kép egy ilyen pont erősen nagyított képét mutatja. A legbelső, sötét udvar az összes sugarak hatására keletkezett s ennek sugara, Joly szerint, a rádium kilövellt α -sugarak hatótávolságával arányos. Az ezt követő világosabb udvar sötétebb széle a rádium A, a harmadik udvar külső széle a rádium C kilövellt α -sugarak hatótávolságának felel meg. A közbesző udvar világosabb színét Joly, Brogg és másoknak azzal a tapasztalatával magyarázza, hogy az α -sugarak ionizáló tehetősége hatótávolságuk határán, ahol a kritikus sebességüket elérik, a leg-erősebb.

A rádium mint gyógyító tényező. Már Curie tapasztalta, hogy a rádium sugarai, hosszabb idejű hatásra, a bőr felületén égési sebeket okoznak. Ezen hatást, a különböző bőrbetegségek gyógyítására fölhasználták. A bőr felületére, legerősebben az α -sugarak hatnak. Miután az α -sugarakat igen vékony üveg- vagy fémrétegek elnyelik, azért az ilyen célra használt rádiumos készítményt, gyantával vagy guttaperchával bevont lapok felületén rögzítik meg s ezeket közvetlenül a kezelendő testrészt helyezik el. A rádiumot ez esetben más erős α -sugárzó tehetségű készítményekkel is helyettesítik. Ilyenek az *ionium* és *polonium*.

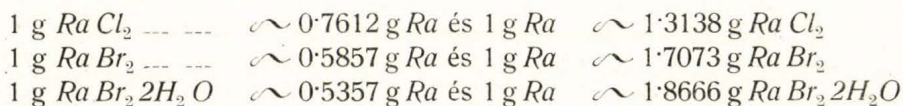
Újabban tapasztalták, hogy a rádióaktív anyagok sugarai, a Röntgen-sugarakhoz hasonlóan, a rákosdaganatokat okozó sejteket pusztítják. Miután a rákosdaganatokat okozó sejtek mélyebb fekvésűek, ezekre a mélyebben ható γ -sugarak hatása érvényesül. A γ -sugarak hatása azonban kisebb lévén az α - és β -sugarakénál, ilyen célra a rádium sokkal nagyobb mennyiségét kell használni. Hogy az ilyen célra használt, aránylag nagymennyiségű rádium lágyabb sugarai a bőr felületét ne támadják meg, ezek visszatartására, az üvegcsőbe forrasztott rádiumos készítményt még fémtokokba is zárják, mint orvosilag kifejezni szokták, fémszűrőket alkalmaznak. Mint említettük, a γ -sugarak, ha fémeken haladnak át, részben szétszóródnak, részben másodlagos sugarakat termelnek. A másodlagos sugarak között nagymennyiségű lágy sugár is keletkezik, amelyek a bőr felületét erősen megtámadják. Ezek visszatartására vékony gyapotréteg (gyapotszűrő) is elegendő.

Elster és Geitel tapasztalták először, hogy a talajvízben mindig több vagy kevesebb rádium-emanációt találunk. Elster és Geitel tapasztalata alapján megindult vizsgálatok azt mutatják, hogy a rádium-emanáció aránylag nagyobb mennyisége, leginkább a hőforrásokban található. Miután a hévvizek legtöbbje a kőszénés és csúszos bántalmaknál hatásos, megkísérelték a rádium-emanációt ilyen esetekben használni. A rádium-emanációt ilyen célra, részben oldva, belsőleg adagolják, részben, mivel azt tapasztalták, hogy olyanok vérében, akik rádium-emanációtartalmú légkörben hosszabb ideig tartózkodnak, a rádium-emanáció nagyobb mennyisége halmozódik föl, gyógyítás céljára külön inhaláló helyiségeket, úgynevezett emanatóriumokat rendeznek be, melyek levegőjébe megfelelő berendezéssel, ismert mennyiségű rádium-emanációt kevernek.

A rádium mennyiségi meghatározása. A rádium mennyiségének meghatározására kétféle eljárás használatos; az egyik, az úgynevezett γ -sugárzási eljárás, a második, az emanációs módszer. Az előbbi eljárást akkor használják, ha a rádiumnak aránylag nagyobb mennyiségét kell megállapítanunk, az utóbbi, a rádium kisebb mennyiségének meghatározására alkalmas.

Kezdetben, amikor még tiszta rádiumvegyületek nem állottak rendelkezésünkre, a rádium mennyiségének meghatározására az α -sugarak ionázító tehettségét használták föl s azok okozta telítési áramot adták meg. Az ily módon közölt régibb adatok, mivel akkor a rádium sugárzásának változása és a sugarak tulajdonsága még kevésbé volt ismert, csak hozzávető, tájékoztató értékkel bírnak. Később megkísérelték a rádium α -sugárzását urániumegységekben kifejezni. Ezen eljárást azonban, mint azt, az uránium sajátságainak leírásánál említettük, mivel a rádium sugárzása összehasonlíthatatlanul erősebb az uránium sugárzásánál és mivel a különböző α -sugarak hatótávolsága különböző, rövidesen el kellett ejteni.

Az 1910. évben, Brüsszelben tartott, második nemzetközi rádiológiai kongresszus, mellőzvéen az α -sugarak ionizáló tehettségére alapított módszereket, úgy határozott, hogy az erőbben sugárzó rádióaktív anyagok mennyiségének meghatározása, ismert mennyiségű, a lehetőségig tiszta, (a gyorsan bomló rádióaktív termékeivel egyensúlyban álló), rádiumvegyület γ -sugárzásával való összehasonlítás útján történjék. Az e célra szolgáló rádiumvegyületek előállítását a Curie né vezetése alatt levő párizsi intézet és a bécsi Institut für Radiumforschung vállalták el. A kongresszus határozata alapján gondosan megtisztított készítményeket, 1911. évi augusztus havában mutatták be, a készítmények megvizsgálására kiküldött bizottságnak. Curie né, e célra 21·99 milligramm, vízmentes, rádiumkloridot állított elő, amelyet 0·27 mm falvastagságú, 1·45 mm átmérőjű, 32 mm hosszú üvegcsőbe forrasztott. A bécsi intézet, három ilyen készítményt állított elő, amelyek egyikének súlya 10·11, a másikaké 31·17, a harmadikaké 40·43 milligramm; mindahárom készítmény, a megejtett vizsgálatok szerint, a lehetőségig tiszta és vízmentes rádiumklorid, amelyek egyenkint, egy-egy 0·27 mm falvastagságú, 3·2 mm átmérőjű és körülbelül 30 mm hosszú üvegcsőbe vannak forrasztva. Ez utóbbi készítmények Meyer St. és Hess vizsgálatai szerint, egy gramm rádiumra számítva, a γ -sugarak kinetikai energiáját is beszámítva, 137 grammkalóriányi meleget fejlesztenek. Az ezen készítményekkel, Hönigschmid megejtette vizsgálatok alapján, a rádium atómsúlya 225·97. E szerint, ha a klór atómsúlyát 35·457 és a bróm atómsúlyát 79·916-nak vesszük:

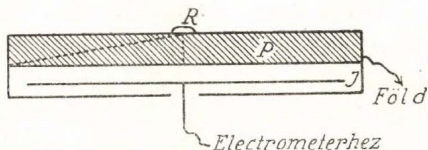


Curie és a bécsi labororium előállította készítményeket, a kiküldött bizottság összehasonlítva, egymással egyezőknek találta és a Curie né előállította készítményt 1912. év márczius havában, mint

a rádiumos méréseknél, egységül szolgáló készítményt átvette. Ugyanakkor a bécsi készítmények közül, a 31·17 milligramm rádiumkloridot tartalmazó készítményt, a rádiumos mérésekre szolgáló párizsi alapkészítmény másodpéldányának nyilvánította ki és fölhatalmazta a bécsi intézetet, hogy az egyes államok részére „secundaer rádium-étalon”-okat állíthasson elő, amelyek hitelesítésére a bécsi és párizsi intézeteket jogosította föl és a mérési hibák határaként 0·5%-os maximális eltérést engedett meg.

A rádiumos készítmények értékének meghatározása oly módon történik, hogy azok γ -sugárzását, az étalon sugárzásával hasonlítjuk össze.¹

Az összehasonlítás teljesen pontos értéket természetesen csak az esetben ad, ha a két összehasonlított készítmény teljesen egyenlő felületű és egyenlő méretű üvegcsőbe van forrasztva. E különbségeket azonban gyakorlatilag kiküszöbölhetjük, ha az összehasonlítandó tömegek méreteihez képest, nagy ionizációs teret használunk, s ha abba a sugarak, a rádiumot magába záró üveg méreteihez képest, vastag ólomlemezre jutnak. Az összehasonlításra különböző alakú készüléket használhatunk. Ezek közül a legegyszerűbbet a 36. rajz mutatja. P nagyobb méretű, vastagabb, kerek ólomlap, melynek középpontjára (R) helyezük, fölváltva az étalont és a meghatározandó készítményt. J , az elektrométerrel összekötött kondenzátorlemez, mely külső zavaró körülmények ellen védőburokkal ellátott és a burkolat, valamint az ólomlap, a földdel van összekötve. Erősebben sugárzó készítmények összehasonlításánál, az elektrométert galvanométer helyettesíti. Az összehasonlításnál az elektrométer tűjének vagy fonalának mozgásváltozása a sugárzás intenzitásával és ez, az összehasonlított rádióaktív anyagok



36. rajz.

¹ A rádium-étalon sugárzó értéke, idővel, természetesen változik. E változás két irányú. Elsősorban is, a rádium lassan bár, de állandóan bomlik s ezzel arányosan, sugárzása csökken. Ezenkívül a készítményben, mindaddig, amíg ezekkel egyensúlyba nem jön, rádium D , E és F halmozódnak föl. E változás azonban a mérést, egyelőre észrevehetően nem befolyásolja. Ugyanis a rádium bomlása olyan lassan történik (hőfejlésztése, a rádium bomlása következtében, évente körülbelül 40/100-kal csökken és a rádium D , E és F keletkezése következtében az első években 10/100-kal emelkedik), hogy e változás csak évtizedek múlva vehető észre, amikor is azt számításba kell vennünk. Ezzel szemben a rádium lassan bomló termékei közül, csak a rádium D és E lövellnek ki γ -sugarakat, de ezek áthatóképessége olyan csekély, hogy azokat, a kísérletnél használt ólomlemezek, majd teljesen visszatartják, s így számításán kívül esnek.

mennyiségével arányos s így a kapott adatokból egyszerű arányszámítással megállapíthatjuk a meghatározandó rádióaktív anyag mennyiségét.

Az összehasonlító mérés azonban csak arról ad fölvilágosítást, hogy a megvizsgált anyag γ -sugárzó tehetsége, a rádium milyen mennyiségének γ -sugárzásával egyenértékű, de azt, hogy a sugárzás tényleg rádiumtól vagy tisztán rádiumtól ered, a fönt leirt vizsgálattal eldönteni már azért sem tudjuk, mert a ma már elég nagy mennyiségben előállított és a rádiumnál olcsóbb mezothoriumos készítmények γ -sugárzó tehetsége, a rádium sugárzó tehetségét felülmulja; továbbá az az uránium előfordulásáról közölt adatokból is kitűnik, a rádiumot szolgáltató ásványok legtöbbjében, nagyobb mennyiségű thoriumot is találunk s így az azokból előállított rádiumban mindig, kevesebb vagy több mezothorium is van, amely a rádiumtól nem választható el.¹

Azt, hogy a sugárzás tényleg rádiumtól ered, vagy hogy a rádiumnak és mezothoriumnak milyen mennyisége van a készítményben, legbiztosabban úgy dönthetjük el, hogy a készítmény igen csekély mennyiségét feloldjuk s az abból keletkező emanációt vizsgáljuk meg. Ezt azonban a legritkább esetben tehetjük meg, mivel a készítmények beforasztott csövekben jutnak forgalomba és ezért a kérdést csak hosszabb időközökben megismételt vizsgálatokkal dönthetjük el. Ugyanis a mezothorium életkora, a rádiuméhoz képest rövid (bomlási félideje 5·5 év) s ezért idővel a sugárzás csökkenését fogjuk észlelhetni. De meghatározhatjuk, a mezothorium γ -sugarainak, a rádiumtól eltérő áthatoló tehetsége alapján is, ha a mérőkészüléken lévő ólomlemez vastagságát változtatjuk, amikor összehasonlító mérés eredménye változni fog, ha a vizsgált anyag sugárzása mezothoriumból ered vagy ha a rádiumban észrevehetőbb mennyiségű mezothorium is van. E meghatározási módszerek részleteire

¹ Meg kell jegyeznünk, hogy mezothoriummentes rádiumot nem ismerünk. Gyakorlatilag mezothorium mentesnek tekinthetjük, a joachimsthal szurokérczből előállított rádiumot (ebből készültek az egységül elfogadott készítmények), de tekintve, hogy a joachimsthal szurokérczen is találunk thoriumot (mint említettük, Auer 10 tonna érczből 500 gramm ióniumtartalmú thoriumoxidot választott le), miután az eddigi tapasztalataink szerint, a mezothoriumot a rádiumtól elválasztani nem lehet, az ebből előállított rádiumban is kell mezothoriumnak lennie, de ennek mennyisége olyan kevés, hogy azt kimutatni nem lehet. A thoriumban gazdagabb ásványokból előállított (amerikai) rádium sugárzása gyakran, annak 50—60%-ig, a készítményben lévő mezothoriumtól ered. Az ilyen rádium értéke természetesen jóval kisebb, mint a mezothoriummentessé. Ezzel kapcsolatosan megemlítjük, hogy a rádiumot gyakran rádiumbromid vagy kristályos rádiumbromid név alatt hozzák forgalomba s látszólag a rádium napi áránál olcsóbban kínálják. Miután a rádiumos készítmények értékét azok rádium (elem) tartalma szabja meg, a $Ra Br_2$ rádiumtartalma 58·27%, a $Ra Br_2 \cdot 2H_2O$ -é pedig 53·57%, az ilyen néven látszólag olcsón vett rádiumot, rendszerint drágán fizetik meg.

nem terjeszkedhetünk ki, ezek egyébként is, csak azokat érdekelhetik, akik az ilyen méréshez szükséges étalonok birtokában vannak.

A γ -sugárzó módszernél inkább használatos, az úgynevezett emanációs mérési módszer. E módszert az előbbivel ellentétben akkor használjuk, ha kis mennyiségű rádiumpot kell meghatároznunk. Az emanáció mennyiségének meghatározása kezdetben oly módon történt, hogy a meghatározandó rádiummal egyensúlyban lévő rádiump-emanáció zárt, leginkább hengeralakú kondenzátorba (iónizációs kamara) bocsátottuk át és az emanáció sugárzása okozta telítési áramot mértük. Eleinte a telítési áramot lehetőleg rögtön, az emanációtartalmú levegőnek a készülékbe bocsátása után mértük meg, de mivel az emanációnak, a készülékbe bocsátása és a mérés megejtése között eltelt idő alatt keletkezett rádióaktív rakódás sugárzása a telítési áramot növeli, a megfigyelés végeztével, a készüléket gyorsan kiszellőztetve, meghatároztuk a rádióaktív lerakódás okozta telítési áramot s a két mérés közti különbség, leszámítva, mindkét esetben a levegő természetes vezetőképességét, adta az emanáció okozta telítési áramot, amelyet *Mache* ajánlatára, az elektromosság elektrosztatikai egységének ezredrészével, az úgynevezett *Mache*-egységekkel fejeztünk ki.

E módszer eredményei hibásak. A legnagyobb hiba onnan ered, hogy az emanáció és a rádióaktív lerakódás együttes sugárzása okozta telítési áramot akkor határozzuk meg, amikor az növekedik és fordítva, a rádióaktív lerakódás előidézte telítési áramot akkor, amikor csökken, tehát az előbb kapott adat nagyobb, az utóbbi pedig kisebb a ténylegesnél, sőt mivel a legerősebb sugárzó tehetséggel bíró rádiump *A* fele, 3 percz alatt elbomlik s ennél több idő telik el azalatt, amíg a készüléket kiszellőztetjük, az utóbbi esetben mért telítési áramot jóval kisebbnek és ennél fogva az emanáció sugárzása okozta telítési áramot a ténylegesnél sokkal nagyobbnak, sokszor 50—60%-kal, sőt még ennél is nagyobbak kapjuk. Lényegesebb eltérést okoz még az a körülmény is, hogy a sugarak, miután az emanáció az ionizációs teret egyenletesen tölti ki, e tér különböző helyéről indulnak ki, ennél fogva közülük egyesek rövidebb, mások hosszabb úton fogják ionizáló tehetségüket kifejteni, egyszóval a sugarak ionizáló tehetségüket, véges nagyságú ionizáló térben csak részben fejthetik ki, vagyis az emanáció sugárzása okozta áram függ az ionizáló kamra nagyságától, de függ az ionizáló kamra alakjától is. Végül a kísérleti adatok *Mache*-egységekben való kifejezésének hátránya, hogy az így közölt adatok csak az emanáció előidézte telítési áramot adják meg, s így a keresett rádiump vagy rádiump-emanáció mennyiségéről nem adnak közvetlen felvilágosítást.

E hibák kiküszöbölésére *Duane* azt ajánlotta, hogy a telítési áramot, az emanációnak a készülékbe bocsátása után eltelt 3. és 4. óra

között határozzuk meg. Ekkorra ugyanis az emanáció, a gyorsan bomló rádióaktív termékein egyensúlyban jutott, amikor is a telítési áram, kis ideig, oly kevésbé változik, hogy az gyakorlatilag állandónak tekinthető. Ilyenkor egymásután több megfigyelést végezhetünk s ezek közép értékét vehetjük. Ezenkívül kísérletileg megállapította, hogy az emanációnak egy és ugyanazon mennyisége, különböző nagyságú, hengeralakú ionizáló kamrában, milyen telítési áramot okoz s ebből kiszámította, hogy az milyen telítési áramot létesít, végtelen nagyságú ionizációs kamrában. Végül azt ajánlotta, hogy a telítési áram helyett, a rádiumnak azon mennyiségét közöljük, amely egy másodperc alatt, az emanációnak talált mennyiségét termeli. Ez egységet *milligramm rádium secundumnak* nevezte. Duane szerint

$$\frac{(V_1 - V_2) \times C}{(t \times 300) \times 5.19 \times \left(1 - 0.517 \frac{S}{Vol}\right)} = \text{milligramm Ra sec.}$$

ahol V_1 = az elektrométerlemeze kezdeti helyzetének potenciálját Voltokban

V_2 = az elektrométerlemez második helyzetének potenciálját Voltokban

t = másodpercekben mért időt, mely alatt a lemez V_1 -től V_2 helyzetbe került

S = a henger belső felületét

Vol = a henger térfogatát jelenti.

Ezen eljárásnak még mindig megvan az a hibája, hogy, bár a kísérleti eredmények rádiummennyiséget adnak meg, a mérés az emanáció okozta áram meghatározásán alapul s így megkívánja, hogy a készüléknek az áram méréséhez szükséges állandóit ismerjük. De az ilyen kis áramok méréséhez megkívánt állandók megállapítása meglehetősen kényes feladat s ezek, különösen a készülékek szállításakor, könnyen megváltoznak. Ezért e meghatározás sok hibaforrást rejt magában. Ezeken kívül maga a számítási mód is több, kisebb-nagyobb pontossággal megállapított kísérleti adaton alapszik s így annak megbízhatósága is, vita tárgyát képezheti. Ezért az 1910. évben tartott brüsszeli, II. nemzetközi rádiológiai kongresszus, a fent leírt és az azokhoz hasonló módszereket elejtette s azt határozta, hogy az emanációs módszer is, hasonlóan a γ -sugárzó módszerhez, kiküszöbölve az árammérés hibaforrásait, lehetőleg közvetlen összehasonlításra alapíttassék. Maga a kongresszus, mint ilyen, természetesen csak az egységek megállapításában tudott határozatot hozni és ebben megállapodásra jutva, felszólította tagjait, hogy ennek alapján, egyenként tanulmányozzák az egyes mérési módszereket, amelyek megvitatását valamelyik későbbi kongresszus feladatául tűzte ki.

A kongresszus, az emanációs módszer egységeül, az egy gramm rádiummal egyensúlyban levő rádium-emanációt fogadta el s ezt a Curie-házaspárról curie-nek, kisebb mennyiségű rádium-emanáció meghatározásának egységeül, az egy milligramm rádiummal egyensúlyban levő rádium-emanációt állapította meg, amelyet millicurie-nek nevezett el.

A kongresszusi határozat végrehajtásának, mivel a szilárd rádiumvegyületek rádiumtartalmát a γ -sugárzó módszer segélyével pontosan megállapíthatjuk, elméletileg semmi akadályja nincsen, sőt az gyakorlatilag is végrehajtható, de csak tökéletesen felszerelt laboratóriumokban. Az emanációs módszert, a rádium kis mennyiségének meghatározásánál használjuk. Az összehasonlításhoz csak rendkívül híg oldatok, a rádiumnak tehát csak igen csekély mennyisége szükséges. A rádiumnak ilyen csekély mennyiségét azonban, a γ -sugárzó módszerrel nem tudjuk megállapítani, miért is nagyobb töménységű oldat hígításával készítjük. A tapasztalat azonban azt mutatja, hogy az ilyen rendkívül híg oldatokból, az oldott rádium egy része idővel kicsapódik, ezért az ilyen oldatok folytonos ellenőrzést kívánnak meg. Hátránya még ez eljárásnak, hogy a rádiumos oldatban keletkezett emanáció egy része, az oldat áttöltése közben elillan és ezért, hogy rádiummal egyensúlyban lévő emanációt nyerhessük, a lemerített rádiumos oldatot, a kísérlet előtt egy hónapnál hosszabb ideig kell abban a készülékben bezárva tartanunk, amelyből az összehasonlításra szükséges emanációt nyerni akarjuk. Ha több egymásután végzendő összehasonlító mérést akarunk, sok ilyen összeállított készülékre van szükségünk. Végül megemlítjük még, hogy az oldatban összegyűlt emanáció egész mennyiségét legbiztosabban úgy nyerjük ki, ha az oldatot levegő átvezetése közben kiforraljuk. Ennél fogva ez az eljárás meglehetősen hosszadalmas s a készülékek meglehetősen helyet foglalnak el, mert megfordított hűtővel kell felszerelve lenniök. Ez utóbb említett nehézségeket, Curie né úgy akarta elkerülni, hogy az oldat töménységét úgy választja, hogy abból egy-két köbcentiméter szolgáltatassa a megfelelő mennyiségű emanációt. Szerinte az ilyen oldatból, ha annak 1—2 köbcentiméterét kis térfogatú mosópalaczkalakú edénybe töltjük és rajta légritkítással 1—2 liter levegőt, két-háromszori megszakítással átszívunk, az áthajtott levegőben, az oldatban volt emanációnak gyakorlatilag összes mennyiségét megkapjuk. Ez eljárással elkerülhetjük a hosszadalmas kiforralást. A kiegyensúlyozódás hosszú idejének megrövidítésére Curie né azt ajánlja, hogy egy-egy vizsgálat után ne várjuk meg azt az időt, mely alatt a rádium az emanációval egyensúlyba jut, hanem az oldatból az összes emanációt kiűzzük és néhány óra pihenés alatt összegyűlt emanációt használjuk az összehasonlításra. Az így nyert oldat természetesen nem használható a közvetlen összehasonlításra. Az így nyert adat ugyanis

csak a lemért mennyiségű rádiumból, az adott idő alatt keletkezett emanáczióknak felel meg, tehát előbb ki kell számítanunk, hogy milyen adatot nyernénk, ha megvártuk volna, míg az oldat az emanáczióval egyensúlyba jutott. Ezt azonban a 96. oldalon közölt táblázat segítségével könnyen elvégezhetjük.

Ezen eljárás, tehát meglehetősen egyszerűsíti a meghatározást, de azért még mindig meglehetősen hosszadalmas, mert egy napot igényel az összehasonlításra szánt oldattal való mérés és egy napot a meghatározandó anyaggal végzendő kísérlet. Továbbá, Farcz ády Gerő tapasztalása szerint, Curiené eljárásával sokszor, minden látszólagos ok nélkül, meglehetősen eltérő eredményeket kapunk, úgy hogy ez eljárás maga is ellenőrző kísérletekre szorul. Ezen eltérésnek oka, Farcz ády és mások tapasztalata szerint csakis az lehet, hogy a kis-mennyiségű, ellenőrzésre szánt oldatnak egy része, a levegő átvezetése közben, az edény felső oldalára szóródik, ott elpárolog, a benne oldott rádium kikristályosodik, az ebből keletkezett rádium-emanáczió már sokkal nehezebben szabadul föl, illetve kristályokba záródik.

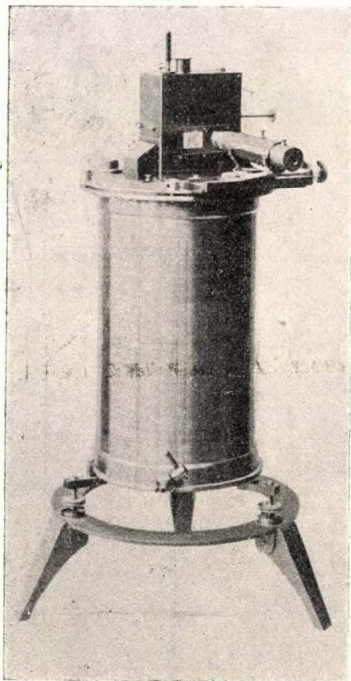
Az elmondottak, valamint számos más kísérleti nehézségek, ezen összehasonlító módszert nehézkesé és hosszadalmassá teszik; ezért csak ott használják, ahol a kellő berendezés mellett, az idő és költség kiméltése mellékes. Gyakorlati meghatározásoknál, legalább is Ausztriában és Németországban, a rádium-emanáczió mennyiségét még mindig *Mache*-egységekben fejezik ki, de most már fölhasználják az eddigi tapasztalatokat és a telítési áramot, az emanáczióknak a készülékbe bocsátása után, 3 és 4 óra közt mérik s az adatokat a készülék méreteinek tekintetbe vétele mellett számítják ki.

Szerző újabban közölt egy eljárást, amelynek célja, hogy az ismert töménységű oldattal való összehasonlításra alapított módszer nehézségeit, közvetítő eljárással kiküszöbölje. Ez eljárásnak lényege, hogy a meghatározandó emanáczió sugárzását, nem közvetlenül ismert töménységű oldatból nyert emanáczió, hanem egy, a készüléken kívül elhelyezett, üvegcsőbe zárt rádiumnak a készülékbe jutott γ -sugaraival hasonlítja össze. A készülék összeállítása olyan és ez lényeges, hogy a rádium mindig a készüléknek *ugyanazon* helyére jut és így a rádium sugarai a készülékben mindig ugyanazon vezetőképességet létesítik. Ha pontosan megállapítjuk, hogy az emanáczióknak milyen mennyisége idéz elő, a készülék oldalára helyezett rádium sugaraival egyenlő vezetőképességet, úgy, ha e rádium sugaraik hatását, a meghatározandó emanáczió sugárzásának hatásával összehasonlítjuk, vagyis, ha megfigyeljük az elektrométernek, a kétféle hatásra észlelhető elmozdulási sebességét, az adatokból egyszerű arányszámítással megkapjuk, az emanáczió mennyiségét. Ez eljárással tehát, kiküszöböljük az árammérés

hibáit, amennyiben az elektrométer könnyen változó és nehezen meghatározható állandóinak ismerete fölöslegessé válik s közvetve ugyanazon célú érjük el, amelyet a brüsszeli rádiológiai kongresszus állapított meg, mert valahányszor az ellenőrzésre használt rádiumot a készülék megfelelő helyére teszszük, ugyanazt a hatást érjük el ezzel, mintha a készülékbe, annak sugárzásával egyenértékű rádium-emanációt bocsátottuk volna. Meg kell jegyeznünk, ami különben magától is értetődik, hogy az e célra használt rádiumnak mezothoriumtól mentesnek kell lennie, továbbá, hogy a rádiumot a készülék belsejétől elválasztó fémrétegnek olyan vastagnak kell lennie, hogy az gyakorlatilag csak a *rádium* C γ -sugarait bocsássa át, mert ellenkező esetben, a rádium öregedése közben szenvedett változások a mérést befolyásolnák.

Szerző az emanációs meghatározásokhoz, a (37., 38., 39.) rajzokon föltüntetett készüléket használja. A készülék, mint az a rajzokból látható, egy kétoldalt (*a*, *b*) csapokkal ellátott, légmentesen elzárható (8—9 liter űrtartalmú) hengeralakú ionizációs henger. Elektrométerül aluminium elektro-szkóplemez (*c*) szolgál, amelyet ablakkal ellátott fémházikó (*d*) véd. Az elektro-szkóplemez mozgási sebességét, okulármikrométerrel ellátott mikroszkóppal (*m*) figyeljük meg. A (*t*) ebonitfogóval elfordítható fémrúd, az elektro-szkópnak és az azzal vezetően összekötött és az ionizáló henger oldalaitól elszigetel-

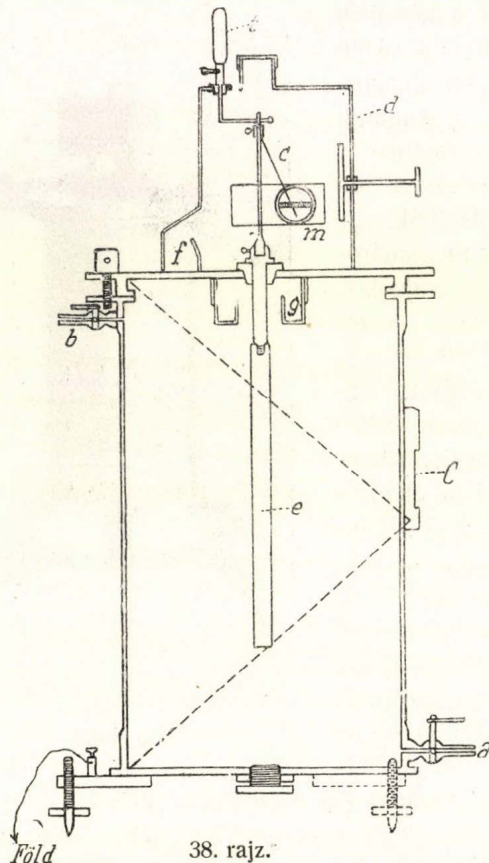
ten, annak belsejébe nyúló fémrúdnak (*e*), elektromos töltésére szolgál. Az *f*-fel és *g*-vel jelölt mellékrészek, szárítóanyagok elhelyezésére szolgálnak. Az ionizáló henger oldalára erősített fémfoglalatba (*C*) illik a rádiumot magába záró fémtok. E foglalat és tok átmetszeti képét, természetes nagyságban, a (39. rajz) mutatja. Egy fémtok (*h*) belsejébe, parafinba ágyazva, vékonyabb beforrasztott üvegcső (*i*) van szilárdan elhelyezve. Az üvegcső aljában foglal helyet az összehasonlításra szánt, mintegy 20—30 milligrammnyi rádium (*Ra*), amelyet üveggyapot szorít erősen le. E tok pontosan illik a hozzáköszörült foglalatba, úgy hogy e tok s vele együtt az abba zárt rádium is, mindig a készüléknek ugyanazon helyére kerül s így a rádiumból kiinduló sugarak mindig, egy és ugyanolyan módon jutnak a készülékbe.



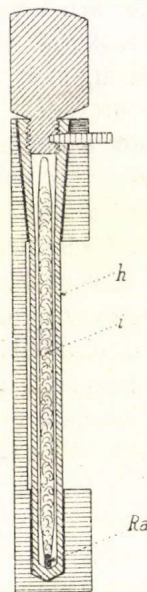
37. rajz.

Az emanáció mennyiségének meghatározása, e készülékkel, a következő módon történik:

a) A rádiumot tartalmazó tokot helyéből kiveszszük és a készüléktől lehetőleg messzire visszük, a készülék külső részeit a földdel összekötjük, az elektroszkópot és a vele összekötött fémrudat (dörzsölt ebonitrúd, zaiboni oszlop, kézi-villamosgép, vagy akkumulátorok segélyével) akkora elektromos töltéssel látjuk el, hogy az elektroszkóp lemeze, a mikroszkóp látóterén kívül kilengjen.¹ Ezután



38. rajz.



39. rajz.

¹ Célszerű az elektroszkópot, már körülbelül egy órával a kísérlet előtt feltölteni, hogy az elektromos eloszlás, a kísérlet végzése közben, a szigetelő borostyánon egyensúlyban legyen. Erősebben aktív anyagok meghatározásánál e körülmény elhanyagolása nem okoz észrevehető hibát, de ha gyengébben aktív anyagokat vizsgálunk, úgy e körülményre súlyt kell helyeznünk. Ha az elektroszkópnak, a levegő természetes vezetőképességének meghatározása előtt, túlságos nagy töltést adtunk volna, úgy hogy a lemez akkor, amikor a leolvasást megkezdeni akarjuk, még nem volna a mikroszkóp látóterében, vagy a lemezt azzal, hogy a rádiumot bezáró tokot, a készülék közelébe tartjuk, a megfelelő osztályvonás közelébe hozzuk, amikor is a leolvadást, (a rádiumot eltávolítva) egy-két perc múlva megkezdhetjük.

megvárjuk, míg a lemez az okulármikrométer egyik, pl. a 20-ik osztályvonásra elé ér és most meghatározzuk az időt, amely alatt a lemez, a levegőben mindig jelenlévő és a készülék oldalaira tapadt kismennyiségű rádióaktív anyagok sugarainak hatására, az okulár mikrométer egy másik, pl. a 80-ik osztályvonásáig ér (a levegő természetes vezetőképessége).

b) Most a foglalatba helyezzük a rádiumot tartalmazó tokot s kétháromszor megismételve, meghatározzuk az időt, amely alatt a lemez ugyanazon utat a rádium sugarainak hatására teszi meg.

c) Ezután ismét eltávolítjuk a tokot, megritkítjuk a hengerben lévő levegőt, belebocsátjuk a meghatározandó rádium-emanációt, s három óra letelte után, lehetőleg többször megismételve, meghatározzuk azt az időt, amely alatt a lemez, ugyancsak az előbbi utat, az emanáció sugárzásának hatására megteszi.

A fenti módon nyert kísérleti adatok eredményének kiszámítási módját, az alábbi példa mutatja meg:

1. Kísérleti adatok.

A tokban lévő rádium γ -sugarainak hatása $= 7.164 \times 10^{-6}$ millicurie rádium-emanáció hatásával.

a) Az elektroszkóplemez, a levegő természetes vezetőképességének hatására, a 20-ik osztályvonástól a 80-ik osztályvonásig haladt: $1^h 46' 32'' = 106' 32'' = 6392''$ alatt.

b) A lemez, a rádium sugarai és a levegő természetes vezetőképességének együttes hatására, a 20—80. osztályvonás között elhaladt, $40' 8'' - 40' 6'' - 40' 80''$ középtértékben $40' 7''$ alatt.

c) A lemez, az emanáció bebocsátása utáni 3-ik óra után, az emanáció és a levegő természetes vezetőképessége hatására, a 20—80-ik osztályvonás között elhaladt, $65' 4'' - 65' 2'' - 65' 6''$ középtértékben $65' 4''$ alatt.

2. Az eredmény kiszámítása.

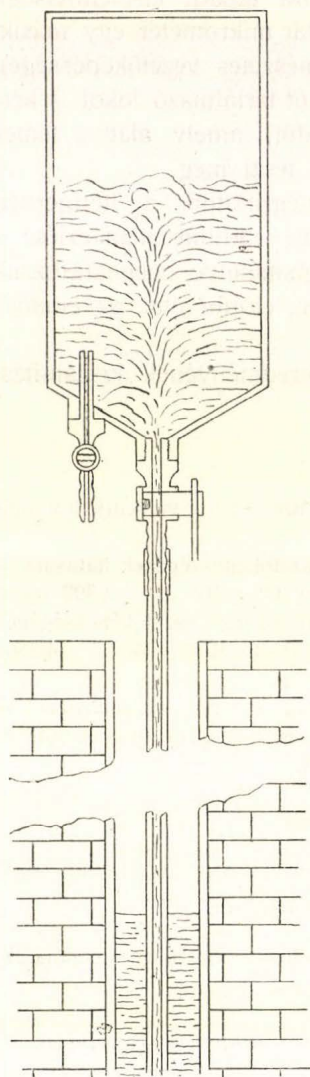
$$\frac{a b}{a - b} = \frac{6392 \times 40' 7''}{6392 - 40' 7''} = 40' 96'' = b' = \text{az idő, mely alatt a lemez, kizárólag a rádium sugarainak hatására, a 20 — 80. osztály vonás között elhaladt.}$$

$$\frac{a c}{a - c} = \frac{6392 \times 65' 4''}{6392 - 65' 4''} = 66' 08'' = c' = \text{az idő, mely alatt a lemez, kizárólag az emanáció sugarainak hatására, a 20 — 80. osztály vonás között elhaladt.}$$

$$\frac{7.164 \times 10^{-6} \times b'}{c'} = \frac{7.164 \times 10^{-6} \times 40' 96''}{66' 08''} = 4.44 \times 10^{-6} \text{ millicurie} = \text{az ionizációs hengerben volt rádium-emanáció mennyisége.}$$

A számítás szerint, az adatokat millicurie egységekben kapjuk meg, de *Mache* kísérletei szerint, egy millicurie rádium-emanáció 2.75×10^6 *Mache*-egységnek felel meg, eszerint, ha a közölt módon nyert adatokat 2.75×10^6 -al megszorozzuk, úgy azokat *Mache*-egységekben, vagy ha azokat 4.8×10^5 -tel szorozzuk meg, úgy milligramm-rádium secundum egységekben kifejezve kapjuk meg. Ily módon tehát, a fenti módon nyert adatokat a *Mache*, vagy milligramm-rádium secundum

egységekben közölt adatokkal is összehasonlíthatjuk. Ez összehasonlítás azonban csak az újabb időben közölt ilyen adatokkal adhat megbízhatóbb képet, mert, mint említettük, a régiebb ilyen adatok többnyire, a ténylegesnél nagyobb értéket adnak.



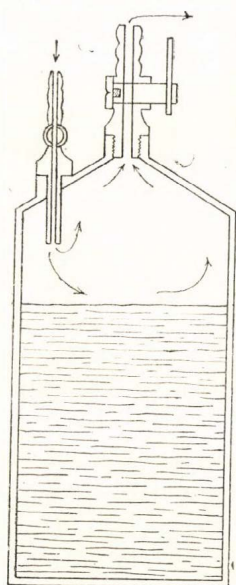
40. rajz.

A rádium-emanációt kereshetjük gázokban, oldatokban vagy szilárd anyagokban. Aránylag nagyobb mennyiségben található az egyes forrásgázokban, barlangok vagy bányák levegőjében és gyógyítás céljára, mesterségesen belekeverve, egyes, e célra be rendezett helyiségek, az úgynevezett emanatoriumok levegőjében.

A forrásgázokat, két végén csaposcsővel elzárt tekében, ugyanoly módon gyűjtjük, mint azt, az egyéb gázvizsgálatok céljaira szokásos. Ha barlangok, vagy más helyek levegőjének emanációtartalmát akarjuk meghatározni, a legegyszerűbben oly módon járhatunk el, hogy 200—1000 cm³ űrtartalmú, két oldalán csaposcsővel elzárt tekét, előzetesen vízzel töltünk meg, s a tekét a vizsgálandó helyiségben kiürítjük, amikor is a víz helyébe a vizsgálandó levegő kerül. Ha e tekét az ionizációs hengerrel kötjük össze, amelyben a levegőt előzetesen meg ritkítettük és a tekén át annyi levegőt bocsátunk a hengerbe, hogy abban a normális nyomás ismét helyre álljon, úgy, miután az ionizációs henger űrtartalma 8—9 liter, a ritkítással eltávolított és azután a tekén át visszabocsátott levegő elegendő lesz, hogy a tekében foglalt gázt a hengerbe átvigye, illetve azt átöblítse.

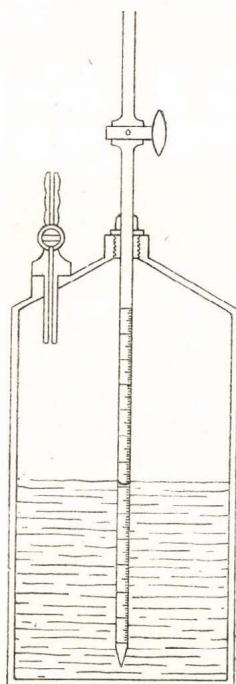
Oldat alakjában az emanáció egyes ásványos vizekben és rádiumtartalmú gyógyszerekben fordul elő. Ásványos vizekben rendszerint csak rádium-emanáció van oldva, rádiumvegyületeket ritkán találunk azokban. Ezeket az ásványos vizeket lehetőleg a helyszínén kell megvizsgálnunk, s miután az emanáció abból könnyen elillan, a vizsgálatra használt vizet oly módon kell merítenünk, hogy eközben az emanáció ebből el ne illan hasson. Szerző e célra, a 40., 41., 42. rajzon feltüntetett ké-

szüléket használja. Eczélból a készülékben lévő levegőt kéziszivattyú segélyével megritkítja, majd miként az a 40. rajzból látszik, annak egyik csapját, megfelelő hosszúságú üveg vagy még czélszerűbben ólomcsővel köti össze, a cső nyitott végét, mélyen a víz színe alá meríti és a csapot kinyitja, amikor a víz az eltávolított levegő helyébe tódul. Az ily módon gyűjtött víz összes emanációtartalmát, a víz kiforralásával, az ionizációs hengerbe vezet-
hetjük át. Miután ez az eljárás körülményes s a



41. rajz.

vizsgálatot leggyakrabban a forrás közelében, tehát olyan helyiségben kell végeznünk, amelynek berendezése erre nem alkalmas, azért szerző e vizsgálatoknál oly módon jár el, hogy az edényben lévő levegőt csak annyira ritkítja, hogy az csak mintegy kétharmadáig teljék meg vízzel, ezután azt elzárja s a tartalmát erősen összerázza, amikor is a vízben oldva volt emanáció, eloszlási hányadosa arányában, az edényben lévő víz és a fölötté lévő levegő között oszlik el. Most a levegőt, a



42. rajz.

gázok vizsgálatánál leírt módon, az ionizációs hengerbe vezet át, meghatározza annak rádiumemanáció tartalmát s a kapott adatból, az egy liter vízben oldott emanáció mennyiségét,

$$\frac{d(l + \alpha v)}{lv}$$

képlet segélyével számítja ki, ahol

- d az ionizációs hengerbe jutott rádium-emanáció mennyiségét,
- v a vizsgálatra merített víz mennyiségét,
- l a víz fölött volt levegő mennyiségét,
- α az emanáció eloszlási hányadosát jelenti.

A rádium-emanáció eloszlási hányadosát, víz és levegő között, különböző hőfokokon, a 94. oldalon, közölt táblázatban adtuk meg. Ha a

víz hőfoka a táblázatban közölt hőmérsékletek közé esnék, úgy a megfelelő eloszlási hányadost interpolálással keressük meg.

Miután a vízgyűjtő edény fémből készült, az abban lévő víz mennyiségét nem láthatjuk, ezért közvetlenül azután, hogy az emanáció-tartalmú levegőt abból eltávolítottuk, lecsavarjuk a felső csapot, először hőmérőt bocsátva abba, az eloszlási hányados megkeresése céljából meghatározzuk a víz hőmérsékletét, majd a 42. rajzon föltüntetett módon, csappal és milliméter osztályzattal ellátott pipettát bocsátunk abba s megfigyeljük a vízállás magasságát. Ha előzetesen meghatároztuk a henger egész űrtartalmát, továbbá megállapítottuk, hogy az edényt lemerített mennyiségű vízzel fokozatosan megtöltve, azt a víznek milyen mennyisége, milyen szintig tölti meg, illetve azt, hogy az edénybe töltött, különböző víz mennyiség szintje a beejtett pipetta melyik osztályvonásáig ér, tehát megállapítjuk, hogy a pipetta minden osztályvonásának az edénybe töltött víznek milyen mennyisége felel meg, úgy a pipetta segélyével, az edényben lévő víz mennyiségét gyorsan és elég pontosan meg tudjuk állapítani. Levonva az edényben lévő víz mennyiségét az edény egész térfogatából, megkapjuk a vízzel összerázott levegő mennyiségét.

E meghatározási módszer, elméleti szempontból, több tekintetben kifogásolható. Így például az emanáció eloszlási hányadosa csak, mintegy öt foknyi hőmérséklet közökre van megállapítva s így az ezen adatokból, interpolálással számított eloszlási hányados, bizonyos fokig önkényes lesz. Ezenkívül az ásványos víz valamivel kevesebb rádium-emanációt old, mint a tiszta desztillált víz. Magasabb hőfokú vizek vizsgálatánál az is kifogásolható, hogy a víz összerázás és az emanáció-tartalmú levegő átvitele között eltelt idő alatt lehül, a mért hőmérséklete nem egyezik pontosan az összerázás hőmérsékletével. E körülmények tényleg okoznak hibát. Két ellenőrző mérés között 1—3% eltérést találunk. Ez az eltérés azonban még mindig kisebb, mintha hasonló esetben, az elméletileg megbízhatóbb kiforrálási eljárást használjuk. Ugyanis, gyengébben aktív vizeknél két-három liter vizet kell a meghatározáshoz vennünk, ily nagymennyiségű vízből, eltekintve, hogy ez eljárás kényelmetlen és hosszadalmas, az emanációt teljesen eltávolítani s a mérőkészülékbe quantitativ átvinni, meglehetősen nehéz feladat. De fölösleges is, hogy ásványos vizek vizsgálatánál, a leírt eljárással nyerhető pontosságnál nagyobbra törekedjünk, mert a legtöbb esetben, az ásványos vizek rádium-emanáció tartalmának ingadozása nagyobb, mint a meghatározásnál észlelhető eltérések. Ugyanis a rádium-emanáció aránylag nagyobb mennyiségét, rendszerint a magasabb hőfokú vizekben és olyanokban találjuk, amelyekkel együtt nagyobb mennyiségű gázok törnek elő. Ezenkívül, az ilyen források vize gyakran nagyobb, nyitott

medenczékben gyülik össze, ahol a forrás betorkolási helyét nem is látjuk vagy több forrás is torkollik egy-egy ilyen medenczébe. Ily körülmények között tehát elég alkalom kínálkozik arra, hogy a víz rádium-emanáció tartalmának egy részét elveszítse, azonkívül még gyakran azt tapasztaljuk, hogy az egymáshoz közel fakadó források vizének rádium-emanációtartalma meglehetősen különböző. Ez az oka, hogy az ilyen nyitott medenczékben összegyűlő víz vizsgálatánál gyakran tapasztaljuk, hogy a medencze különböző helyéről, különböző körülmények között merített víz emanációtartalma között 10—15, sőt néha ennél jóval nagyobb százaléknyi különbségeket is találunk.

Ásványos vizekben, mint említettük, a rádiumnak rendszerint csak emanációja van oldva, előfordulhat azonban, hogy abban oldott rádiumvegyületet is találunk. Ezt megvizsgálandó, a vizen nagyobb mennyiségű levegőt hajtunk át, jól kiforraljuk, majd zárt edényben néhány napra félretesszük. Ha a vízben valamilyen oldott rádiumvegyület van, úgy abban rádium-emanáció ismét fölhalmozódik, s ennek mennyisége arányos a vízben oldott rádiummal.

A rádiumos gyógyszerekben rendszerint, oldott rádiumvegyületet találunk. Az ezekből nyerhető rádium-emanáció jóval több, mint amennyit az ásványos vizekben találunk, ezért ezekből sokkal kisebb mennyiséget kell lemérnünk, mint amennyit az ásványos vizekből e célra veszünk. A rádiumos oldatok lemérése és átöntése közben, emanáció tartalmuk egy része elvész. Ezért ezeket kicsiny, bevezető csővel és megfordított hűtővel ellátott lombikba öntjük, esetleg kevés sósavval megsavanyított, párolt vízzel fölhigítjuk s a bennük lévő emanációt forralással és levegő áthajtásával kiűzzük. Ezután a lombikot elzárva, néhány napig nyugton hagyjuk s ezalatt összegyűlt emanációt forralással és levegő áthajtásával, az ionizációs hengerbe viszzük át. A nyert adatból az emanációnak az oldott rádiummal egyensúlyban lévő mennyiségét, a 96. oldalon közölt táblázat segélyével számítjuk ki.

Ásványok rádium-emanáció-, illetve rádiumtartalmát, ha azok valamilyen savban tökéletesen oldódnak, oldatukból ugyanúgy határozzuk meg, mint azt leirtuk. A legtöbb ásvány azonban egyszerűen savakban nem oldódik föl tökéletesen. Ilyenkor a rádium egyrésze oldatlanul marad, sőt kiválik akkor is, ha az oldatban a legcsekélyebb zavarodás keletkezik. Ezért az ásványok rádiumtartalmát úgy szoktuk meghatározni, hogy azokból egy-két grammnyi finom porrá dörzsöljük és vascsónakban, fújtató lángon, öt-hatszoros mennyiségű lithiumkárbonáttal olvasztjuk össze s addig hevítjük, amíg az olvadék teljesen átlátszóvá lesz. Eközben, az ásványba zárt rádium-emanáció elillan. Ezért a csónakot, lehűlése után, két oldalán elzárható kvarcz- vagy káliüvegcsőbe helyezve, néhány napig elzártan tartjuk. Az ezalatt összegyűlt rádium-emanációt

azzal, hogy a cső megfelelő helyét, a már föltárt keverék olvadáspontján fölül hevítjük s az emanációt, az ionizáló henger felé haladó lassú levegő-árammal, az ionizáló hengerbe viszzük, ahol annak mennyiségét meghatározva, a nyert adatból az emanációnak rádiummal egyensúlyban lévő mennyiségét, illetve az ásvány rádiumtartalmát ugyanúgy számítjuk ki, mint azt az oldatoknál tettük.

Az emanációs mérési módszereknél, lényegében, az elektrométernek az emanáció okozta telítési árammal arányos elmozdulási sebességét határozzuk meg. Maga a meghatározás nem ad fölvilágosítást arról, hogy a vezetőképességet egyedül a rádium-emanáció, vagy más vezetőképességet előidéző anyagok idézték elő. Ez annál is inkább kétséges lehet, mert a rádiumon kívül, még két olyan rádióaktív anyagot ismerünk, amelyek emanációt termelnek. Igaz ugyan, hogy mi a mérést az emanációnak a készülékbe jutása utáni harmadik órában végezzük, amikor a gyorsan bomló thorium-emanáció úgyszólván teljesen elbomlott és az ennél még sokkal gyorsabban bomló aktinium-emanáció, a leirt berendezés mellett, nem is juthat a készülékbe, de a thorium-emanáció bomlási termékei befolyásolhatják a mérést, ha a vizsgált anyagban, ami igen gyakori eset, thorium vagy annak valamilyen terméke volna jelen. Ezért minden egyes esetben külön meg kell vizsgálnunk, hogy a vizsgálandó anyag nem termel-e thorium-emanációt, valamint azt, hogy az észlelt vezetőképesség rádium-emanációtól származott-e.

Arról, hogy a vezetőképességet a rádium-emanáció okozta, olymódon győződhetünk meg, hogy a megejtett vizsgálat után az ionizációs hengert gyorsan kiszellőztetjük, s ezután megállapítjuk a hengerben visszamaradt rádióaktív lerakódás bomlási sebességét. A 43. rajz görbéi, a budapesti Rudasfürdő vizére vonatkozó adatokat foglalják össze.

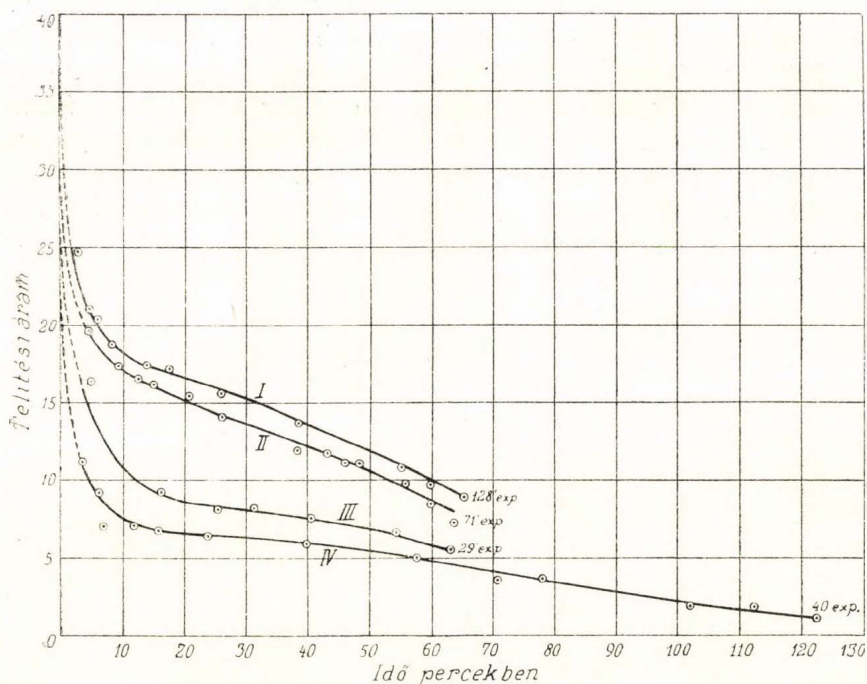
A görbék, a 34. rajzon föltüntetett görbékhez hasonlóak. Az ilymódon szerkesztett görbék, már egyszerű reátekintésre fölvilágosítást adnak arról, hogy a vizsgált anyagban rádium-emanáció volt-e. Ha a vizsgált anyag eléggé aktív és így, ha a rádióaktív lerakódás bomlási sebességét hosszabb ideig figyelhetjük, úgy azt tapasztaljuk, hogy az mindinkább lassúbbá lesz s végül a rádium B bomlási sebességével, tehát körülbelül félóránként felére csökken, sőt az adatokból, a rádium B bomlási együtthatóját is közelítőleg kiszámíthatjuk.

Az alábbi táblázat, a 43. rajzon IV. számmal jelzett görbén föltüntetett végső adatokat adja meg.

A táblázat első rovatában a készülék kiszellőztetésétől számított idő percekben, a második rovatban, a táblázat első adatától számított idő percekben, a harmadik rovatban a másodpercek száma, amely alatt az elektroszkóplemez a 45. osztályvonástól az 55. osztályvonásig haladt,

a negyedik rovatban, az előbbiből számítva, az osztályvonások száma, amelyek előtt az elektroszkóplemez másodpercenként elhalad, s végül az ötödik rovatban az ezekből számított λ értéke van megadva.

I.	II.	III. ¹	IV.	V.
78.5	0	51.5	0.194	—
102.0	23.5	92.2	0.105	$4.3 \times 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$
112.0	33.5	113.6	0.088	$3.9 \times 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$
122.0	43.5	181.8	0.055	$4.8 \times 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$
λ középértékben				$4.3 \times 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$



43. rajz.

Ez adatokból számított λ érték, mint látjuk, elég jól egyezik a rádium B bomlási együtthatójával. Ez úton azonban csak azt állapíthatjuk meg, hogy a vizsgált anyagban rádium volt. A leírt eljárás mellett ugyanis a thorium-emanációnak csak kisebb mennyisége juthat a készülékbe és az ebből keletkezett rádióaktív lerakódás az esetben, ha aránylag nagyobb mennyiségű rádium-emanáció is volt jelen, a rádium rádióaktív lerakódásával okozott telítési áramot, illetve annak változását csak kevésbé változtatja meg. Ezért azt, hogy a vizsgált anyag thorium-

¹ A III. rovatban közölt adatokból, a lemeznek, a levegő természetes vezetőképesége okozta elmozdulási sebessége le van vonva. Az eredeti kísérleti adatokat az egyszerűség és helykimélés céljából elhagytuk.

emanációt is termel, még külön is meg kell vizsgálnunk. E célból az oldaton keresztül, vagy a föltárt vizsgálati anyag fölött, amelyekből a rádium-emanációt már elűztük, az ionizáló hengeren áthaladó levegő-áramot vezetünk s megvizsgáljuk, hogy az áramló levegőnek vezető-képessége észrevehetően nagyobb-e, mint a közönséges levegőé. Ugyanis a thorium-emanáció bomlási sebessége jóval nagyobb lévén a rádium-emanációénál, ezt forralással az oldatból teljesen nem tudjuk kiűzni, s így az áramló levegőben, a rádium-emanáció eltávolítása után, a thorium-emanáció jelenlétét kimutathatjuk. Ha a vizsgálandó anyagban thoriumot is találunk, úgy a fönt leírt eljárásokat úgy kell módosítanunk, hogy az emanációt, mielőtt az ionizáló hengerbe vinnők, előzetesen, egy-két liter űrtalmú, csapokkal elzárt üvegtekébe vezetjük át, ebben mintegy 20—30 perczig állni hagyjuk, s ebből visszük át az ionizáló hengerbe. Ezalatt ugyanis a tekébe jutott thorium-emanáció úgyszólván teljesen elbomlik s az abból keletkezett rádióaktív lerakódás a teke falára rakódik le, úgy hogy ebből a rádium-emanáció, az előbbiektől mentesen kerül az ionizáló hengerbe.

Thorium és átalakulási termékei.

Előfordulása. A thoriumot eddig a ritkábban előforduló anyagok közé soroltuk; az újabb vizsgálatok szerint azonban a rádiumhoz hasonlóan, ha kis mennyiségben is, de a Földünk felületén mindenütt föllelhető. Erre mutat, hogy a rádium-emanáció mellett a thorium-emanációt is, úgy a talajból kiszivárgó, mint a talaj mélyéből kiszivattyózott levegőben megtaláljuk, ezenkívül kimutatták a thorium jelenlétét a legkülömbözőbb ásványokban és kőzetekben is. Joly, aki egyrészt Gotthard-alagút fúrásánál felszínre kerülő, másrészt a Föld különböző helyeiről gyűjtött kőzeteket ily szempontból rendszeresen vizsgálta, azokban rádium mellett thoriumot is talált. Szerinte az agyagos és homokos kőzetek átlagos thorium-tartalma, grammonként 1.3×10^{-5} gramm, a mésztartalmú kőzeteké pedig 0.06×10^{-5} gramm. Ez adatokból, miután az üledékes kőzetek 80%-át az agyagos és homokos kőzetek teszik, a Föld felületét borító kőzetek átlagos thorium tartalmát grammonként 1.16×10^{-5} grammnak veszi. Joly adatai, tekintve, hogy a meghatározás az emanációs módszer segítségével történt és a thorium mennyiségének ily módon való meghatározása, mint azt később látni fogjuk, meglehetősen bizonytalan, csak tájékoztató értékük; de tekintve, hogy az újabb ásványtani vizsgálatok szerint, ritka földeket tartalmazó ásványok a gránitokban, kismennyiségben ugyan, de elég gyakran találhatók és hogy ez ásványok rendszerint, 0.3—0.9% thoriumot is tartalmaznak; valószínű, hogy a thoriumot, a gránit mállási termékeiben is megtaláljuk és ezekben, megfelelően érzékeny mérési módszerrel, annak mennyiségét is megállapíthatjuk.

Az elsorolt ásványok meglehetősen ritkák és csak kismennyiségben fordulnak elő. Nagyobb mennyiségben ezek közül csak a monazit-homok található, amely az Amerikai Egyesült-Államok és Mexikó egyes folyóvölgyeit, elég vastag rétegben és nagy kiterjedésben borítja. Ez az anyag fedezi ma főként a világ thoriumszükségletét, melyet javarészt az Auer-féle izzótestek előállítására használnak.

A monazit főtömegében, 1—18% thoriumoxid- és kevés uránium-tartalom mellett, a ritkaföldek foszfátjaiból áll.

Hazánkban eddig még, thoriumtartalmú ásványt nem találtak. Krenner az oláhiai (Erdély) aranyosóban, borsószem nagyságú monazitkristályt talált. Sajnos, e kristály oly kicsiny, hogy Krenner csak kristályszerkezetét vizsgálta meg, s így thoriumtartalmáról semmit sem tudunk.

Az ismertebb thoriumtartalmú ásványok a következők:

	Átlagos	
	uránium-tartalom	thorium-tartalom
	százalékokban	
Orangit	1	65
Thorianit	9—10	65
Auerlit	—	61—63
Thorit	9	45
Uranothorit	1—10	35—45
Mackinthoshit	20	42
Thorogummit	18	36
Freyalit	—	24
Aeshynit	0·25	14
Bröggerit	66	14
Cyrtholit	—	13
Orthit, Allanit	—	6
Cleveit	60	6
Samarskit	3—15	4
Fergusonit, Tyrít	1·5— 6	1—3
Xenotim	0·5— 3	0·5—3
Monazithomok	—	1—2·5

Története. A thoriumot 1828-ban Berzelius, a Lövön norvég szigeten talált, addig ismeretlen s Thorit-nek nevezett ásványban fedezte föl. 1901—1904. években Baskerville, a thorium vegyületeit vizsgálva, azt következtette, hogy a thorium vegyületei nem egyszerűek és hogy azokból három, különböző tulajdonsággal bíró elemi anyagot választ-hatunk el, ezeket *caroliniumnak*, *berzeliumnak* illetve *thoriumnak* nevezte el. Ezek közül a carolinium atómsúlyát 226-nak, a berzeliumét 212·8-nek és a tulajdonképpeni thoriumét 220-nak találta. Baskerville következtetései azonban tévesnek bizonyultak.

A thorium sugárzótehetségét, egy időben és egymástól teljesen függetlenül, Schmidt G. C. és Curiené fedezték föl; az előbbi közleménye német nyelven, 1898. évi április hó 1-én, az utóbbié francia nyelven, 1898. évi április hó 12-én jelent meg.

Előállítás. A thorium vegyületeit főként az Auer-féle izzótestek készítésére használják. E testek 99% thoriumoxid és 1% ceriumoxidból

állanak és oly módon készülnek, hogy a megfelelő alakú gyapotszövetet tömény thoriumceriumnitrát oldatába áztatják, majd a kiszáritott szövetet elégetik. A thoriumnak e célra évenként fölhasznált mennyiségét 100,000—200,000 kilogrammra becsülik.

A thorium vegyületek nagybani előállítására, úgyszólván kizárólag monazithomokot használnak. A braziliai homok thoriumtartalma kisebb, de ez finomabb szemű. Az Egyesült-Államokban talált homok, valamivel nagyobb thoriumtartalmával szemben durvább, miértis földolgozás előtt meg kell őrölni. A nyers homokot először iszapolják, amikor a nagyobb fajsúlyú monazit könnyebben ülepszik. Ily módon a homokot töményítik s a 4—5% thoriumoxidot tartalmazó homok kerül forgalomba. E homokot tömény kénsavval tárják föl. A kénsav hatására a thorium és a ritkaföldek foszfátjai földoldódnak, a homok egyéb alkotórészei (kvarcz, mágnesezvaskő, titánvas, zirkon, titánsav, stb.) oldatlanul maradnak. A kénsavas oldatot, erősen hűtve, hígítják, majd mágnézium-hidroxiddal fokozatosan közömbösítik, amikor a thoriumfoszfát, majd a ritkaföldek foszfátjai lassan leválanak. Az elsőnek leválott részletekben találják a thorium főtömegét. A thoriumtartalmú foszfátot tömény sósavban oldják s az erősen savanyú oldatból a thoriumot, oxálsavval kicsapják. Ez eljárással a foszfátot oxalattá alakítják s szennyezései egy részétől megtisztítják. A kiválott oxalátot tömény nátriumkarbonát oldatával öntik le, amikor a thorium, valamint a ritkaföldek egyrésze földoldódik, az utóbb említettek nagyobb része oldatlanul marad. Ha ez oldatot megsavanyítják, úgy abból a thoriumoxalát ismét leválik, de ez még tisztításra szorúl. A thoriumvegyületek további tisztítása, részben az előbb említett eljárások megismétlésével történik, részben azon alapszik, hogy:

1. A thorium és a ritkaföldek vízmentes szulfátjai, 0°-os vízben jól oldódnak, magasabb hőfokon, a keletkező hidrátok közül, a $\text{Th}(\text{SO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, vagy $\text{Th}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ aránylag kevésbé oldódik, mint a ritkaföldek szulfátjai. Az alábbi két táblázat, a thoriumszulfát és a cerium csoportjába tartozó ritkaföldek szulfátjainak oldhatósági viszonyait mutatja, 14—100 C° között.

100 g víz old vízmentes szulfátokra számítva:

	14—18°	25—35°	42—50°
	g r a m m o k a t		
$\text{Th}(\text{SO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ---	1·38	1·85	3·71
$\text{Ce}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ---	11·06	8·39	5·65
$\text{Nd}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ---	7·1	5·1	3·6
$\text{Pr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ---	14·05	10·4	7·02
$\text{La}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ---	2·6	1·9	1·6

100 g víz old vízmentes szulfátokra számítva :

	50—57°	70—80°	95—100°
	g r a m m o k a t		
Th(SO ₄) ₂ 4H ₂ O	1·94	1·09	0·71
Ce ₂ (SO ₄) ₃ 4H ₂ O	2·39	1·38	0·43
Ne ₂ (SO ₄) ₃ 8H ₂ O	3·6	2·7	2·25
Pr ₂ (SO ₄) ₃ 8H ₂ O	7·02	4·2	1·00
La ₂ (SO ₄) ₃ 9H ₂ O	1·6	1·0	0·7

E táblázatokból kitűnik, hogy a thoriumszulfát, amely víztelenítés után, jéggel hűtött vízben jól oldódik, kristályvizet vesz föl s miután a kristályvíz tartalmú szulfátja rosszul oldódik, magasabb hőfokon az oldatból kiválik. Ily módon azonban a thoriumvegyületeket csak az yterbium csoportjába tartozó ritkaföldről és az egyéb szennyezéseitől lehet teljesen megtisztítani, míg a cerium csoportjába tartozó elemek egy része vele kristályosodik, s ezektől csak többszörös átkristályosítással választhatjuk el. Ezért ez az eljárást ma már mellőzik. Egy másik eljárás alapja, hogy:

2. a thorium vegyületei ammóniumkarbonát, vagy ammónium-oxaláttal vízben jól oldódó kettős sókat adnak, míg a ritkaföldök hasonló kettős sói, vízben rosszul oldódnak. Ha a thoriumnak ammóniumoxalátos oldatát megsavanyítjuk, úgy az oldatból thoriumoxalát válik ki.

3. A thoriumvegyületek megtisztítására fölhasználják azon tulajdonságukat is, hogy könnyen hidralizálódnak. Ha thoriumvegyületek oldatához nátriumthioszulfát oldatot adunk és az oldatot fölmelegítjük, úgy thoriumhidroxid válik ki.

Hidrogénhiperoxid, melegítéskor, a thoriumvegyületek oldatából, thoriumperoxidhidrátot választ ki. E reakció meglehetősen érzékeny s a csapadék, már kevés thoriumvegyület jelenlétében is leválik.

A leírt és ezekhez hasonló folyamatok, nemcsak a thorium vegyületeire jellemzőek, ezért tekintve, hogy a thoriumtartalmú ásványok összetétele rendkívül bonyolult, a thorium vegyületeit ez eljárások egyikével sem lehet teljesen megtisztítani. Tiszta thoriumvegyületet csak úgy nyerhetünk, ha a thoriumtartalmú anyagokat a kiverő anyagok természete szerint, különböző eljárásoknak vetjük alá.

A fémthoriumot már Berzelius is előállította. Azóta többen, különböző eljárást irtak le e fém előállítására. Ez eljárások lényege, hogy kálium- vagy nátriumkloriddal kevert, vízmentes thoriumkloridot, fémnátriummal vagy fémkáliummal redukálnak. Wartenberg vizsgálatai szerint, az ily módon előállított fémben mindig, több vagy kevesebb (10—20%) thoriumoxid is van. Megkísérelték a thoriumoxidot fém-

magnéziummal vagy alumíniummal redukálni, de ily módon csak magnéziumos vagy alumíniumos ötvözetet kaptak. Elektromos kemenczében, szénnel redukált thoriumoxid, thoriumkarbiddá (ThC_2) alakul.

Tulajdonságai. Az oxidtartalmú fémthorium sötétszürke, fénylő por, amely nagyító alatt hatoldalú lemeznek látszik. Fajsúlya 11.0. Levegőn hevítve, élénk izzással elég. Vákuumban körülbelül 1450° -on megolvad s jól kovácsolható tömeggé áll össze. A színe ilyenkor, a platínához hasonlít. Kén gőzével és Cl., Br. J.-dal, magasabb hőmérsékleten fénytűnemény közben egyesül. Hidrogén- vagy nitrogéngázban hevítve, azonnal hidriddé, illetve nitriddé egyesül. Híg sósav nehezen, tömény sósav könnyen oldja, de a benne lévő oxid oldatlan marad. Kénsav és salétromsav nehezen támadják meg. Királyvíz hevesen oldja. Alkáliák nem hatnak rája.

A thorium a cerium csoportjába tartozó ritka földek közé sorozható és a zirkoniumhoz és titánhoz hasonlóan viselkedik, csak hogy azoknál elektropozitívabb és vegyületei kevésbé hidrolizálódnak. Sói jól kristályosodnak.

A thoriumvegyületek oldatából ammóniumsulfát, ammóniumhidroxid, kálium- vagy nátriumhidroxid, thoriumhidroxidból álló és a kémszeri fölöslegében nem oldódó, fehér kolloidcsapadékot választ le. Borkősav a csapadék leválását hátráltatja.

Kálium- és ammóniumkarbonáttal fehér ($\text{Th}(\text{CO}_3)_2$) csapadék válik ki, mely a kémszeri fölöslegében oldódik. Töményebb oldatból, 50 – 60° -on, $\text{Th}(\text{CO}_3)_2$ válik le, amely az oldat kihűlésekor ismét föloldódik.

Tömény káliumsulfát oldata, a thoriumvegyületeket kettős szulfátok alakjában, tökéletesen kikristályosítja és a kristályok hideg vízben roszszul, forróban jól oldódnak.

Oxálsav a thoriumvegyületeket, erősen savanyú oldatból, majdnem tökéletesen leválasztja. A csapadék, közömbösített, vagy lúgos oldatban, ammóniumoxalát hozzáadására föloldódik. Nátriumacetát a thorium leválását hátráltatja.

Nátriumthiosulfát, melegítve, thoriumhidroxidot választ le. Hidrogénhiperoxiddal, thoriumhiperoxidból álló csapadék válik le.

Acetilacetonát, töményebb thoriumoldatból, $\text{Th}(\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2)_4$ összetételű csapadékot választ le, e csapadék kloroformban oldódik, ebből átkristályosítható s vákuumban szublimálható.

Vízmentes thoriumsulfát, jéggel hűtött, vízzel túltelített oldatot ad. Ez oldatból, mint a 137. és 138. oldalon közölt táblázatokból kitűnik, 50° -on aluli hőmérsékleten $\text{Th}(\text{SO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, 50 – 100° közti hőmérsékleten $\text{Th}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ összetételű kristályok válnak ki.

A thorium vegyületei színtelenek vagy fehérszínűek. A frissen leválasztott thoriumhidroxid savakban könnyen oldódik. A kihevített

thoriumoxid csak egyenlő súlyú vízzel hígított kénsavban oldódik, más sav, még alkáliakkal való összeolvasztás után sem oldja.

A thorium oxidja, hidroxidja, oxalátja, karbonátja, kromátja, foszfátja és fluoridje vízben alig, a többi sói többé-kevésbé jól oldódnak és jól kristályosíthatók. A thorium vegyületei nagy hajlandóságot mutatnak kettős sók létesítésére. Leggyakrabban használt vegyülete a thorium-nitrát $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$.

A thorium négyvegyértékű, atómsúlya, az 1917. évi nemzetközi atómsúlytáblázatban 232·40, újabban azt Hönigschmid és Horovitz 232·12-nek találták.

Rádióaktív viselkedése. A thorium rádióaktív átalakulásának több termékét ismerjük. Ezek keletkezésük sorrendjében a következők:

mezothorium I. átalakulási félideje	...	...	5·5 év	...	sugárzása ?
mezothorium II.	"	"	6·2 óra	...	" β, γ
rádióthorium	"	"	2·0 év	...	" α, β
thorium X	"	"	3·64 nap	...	" α
thorium-emanáció	"	"	54·5 másodperc	...	sugárzása α
thorium A	"	"	0·14	"	" α
thorium B	"	"	10·6 óra	...	" β, γ
thorium C	"	"	60·8 perc	...	" α, β, γ
thorium D	"	"	3·1	"	" β, γ

Régebben előállított thoriumvegyületekben a felsorolt átalakulási termékeket mind megtaláljuk s az ilyen vegyületek, sugárzóhatásuknak jórészt az átalakulási termékeknek köszönik.

Újonnan előállított vagy gondosan megtisztított, thoriumvegyületek sugárzó tehetsége, természetesen jóval kisebb, mint a régebbi vegyületeké; de a gondosan tisztított thoriumvegyületek is, sugárzó tehetségük jórészt még mindig, a bennük lévő átalakulási termékeknek köszönik. Az eddigi vizsgálatok szerint ugyanis, a rádióthoriumot a thoriumtól elválasztani nem sikerül, a thorium és rádióthorium közzé eső mezothorium I és mezothorium II azonban, a tisztításkor, a thoriumtól elválkik. A thorium mellett maradt rádióthorium tehát, miután a mezothoriumot eltávolítottuk, egyideig fogyni fog, de a fogyás csak addig tart, míg az újból keletkezett mezothorium mennyisége annyira halmozódott, hogy a belőle keletkező rádióthorium az elfogyó mennyiséget pótolja. Ezért tiszta, átalakulási termékeitől mentes thoriumvegyületet, egyszerű tisztítási eljárással előállítani nem lehet, ilyet csak úgy kaphatunk, ha megvárjuk, míg a megtisztított thoriumvegyületben megmaradt rádióthorium magától elbomlik; és hogy eközben újabb rádióthorium keletkezését meggátoljuk, a keletkezett mezothoriumot, időközönként el kell távolítanunk. Ez ugyan könnyű feladat, mert a mezothoriumot azzal, hogy az oldathoz kevés báriumkloridot adunk s azt kénsavval kicsapjuk, bármikor könnyen eltávolíthatjuk; de a rádióthorium aránylag hosszú

életkora miatt, e műveletet hosszú időn át, rövidebb időközökben többször meg kell ismételni. A közölt adatok alapján végzett számítás szerint, a leírt eljárásnak alávetett thoriumvegyületekben hat és fél év múlva még 1% és 20 év múlva 1‰ rádióthorium lesz jelen.

Mivel eddig átalakulási termékeitől mentes thoriumvegyületeket előállítani nem sikerült, továbbá, mivel a thoriumtartalmú ásványokban mindig, több-kevesebb uránium van; a thoriumot pedig, az uránium átalakulási termékétől, az ióniumtól nem sikerült elválasztani, ezért eddig közvetlenül nem állapíthattuk meg, hogy a thorium milyen sugarakat lövell ki, és így csak sejtjük, hogy a thoriumvegyületek kilövellte α -sugarak között talált 2.72 cm hatótávolságú, amilyen rövid hatótávolságú sugarat sem az iónium, vagy a thorium bomlási termékeinek egyike sem lövell ki, a thoriumból eredő, és hogy a thorium α -sugárzás közben alakul át.

Megjegyezzük, hogy még a bomlási termékeivel egyensúlyban lévő thoriumvegyületeknek sugárzó tehetsége is aránylag gyenge, nem sokkal nagyobb, mint az uránium vegyületeié. Mc. Coy szerint, 1 g bomlási termékeivel egyensúlyban lévő thorium (elem) sugárzása okozta telítési áram, 5.81×10 ampère.

A régi, bomlási termékeivel egyensúlyban lévő thoriumvegyületek sugárzó tehetsége tehát alig nagyobb, mint a megfelelő és gondosan tisztított, tehát bomlási termékeitől mentes urániumvegyületeké. E körülmény, tekintve, hogy a régibb thoriumvegyületek sugárzása főként a bomlási termékektől ered, amellet szól, hogy annak életkora jóval hosszabb, körülbelül háromszor akkora, mint az urániumé.¹

¹ A thorium rádióaktív állandói, lassú bomlása folytán, sem közvetlenül, de hosszabb élettartamú bomlási termékek hiányában, közvetve sem határozhatók meg. Rutherford és Geiger megkísérelték, végtelen vékony rétegben kiterített thoriumvegyülethől, másodpercenként kilövellt α -részecskéket megszámlálni s ebből kiszámítani a thorium életkorát. Rutherford és Geiger vizsgálatai szerint, 1 g átalakulási termékeivel egyensúlyban lévő thorium, másodpercenként 2.7×10^4 α -részecskét lövell ki. Ha föltételezzük, hogy a thorium maga is α -sugarakat lövell ki, úgy, mint az a fentebb közölt táblázatból kitűnik, a bomlási termékeivel egyensúlyban lévő thoriumban 6 α -sugárzó termék van, s így a kilövellt α -részecskék egy hatoda ered magából a thoriumból. Az 1 g thoriumból másodpercenként kilövellt α -részecskék száma tehát 4.5×10^3 s így az évenként kilövellt α -részecskék száma 1.42×10^{11} lesz. Ha föltételezzük, hogy minden átalakuló thorium-atóm egy α -részecskét lövell ki, egy gramm thoriumból átalakuló thorium-atómok száma a kilövellt α -sugarak számával egyenlő, vagyis 1.42×10^{11} . De tudjuk, hogy egy mágneses egységnyi elektromos mennyiség 0.01118 g fém ezüstöt választ le; az ezüst gramm-atómsúlynyi mennyiségének leválasztásához tehát $\frac{107.88}{0.01118} = 9649.3$ mágneses egységnyi elektromosság szükséges. Ha egy elektrolitikus ion töltését, 4.77×10^{-10} elektrosztatikai = 1.59×10^{-20} mágneses egységnyinek vesszük

Mezothorium I. A mezothorium I-et, 1907-ben Hahn O. fedezte föl. A thorium vegyületeitől, a mezothorium I-et könnyen elválaszthatjuk oly módon, hogy

1. ha thoriumnitrát oldatához fölös ammóniát adunk, úgy az oldatból thoriumhidroxid válik ki és a mezothorium I 80—90%-a az oldatban marad;

2. ha az oldathoz nátriumkárbonát fölöslegét adjuk, úgy az eleinte kiválott bázikus thoriumkárbonát a kémszer fölöslegében föloldódik, míg a mezothorium I, a csapadékban marad. Ha a thoriumvegyületek idegen anyagoktól mentesek, úgy az oldathoz adott kevés ferriklorid vagy báriumklorid hatására keletkezett csapadékban lesz a mezothorium-I;

3. ha a thoriumvegyületekkel oldott kevés báriumklorid báriumját kénsavval kicsapjuk, úgy a mezothorium I a csapadékkal válik le.

A mezothorium I, chemiai viselkedése teljesen olyan, mint a rádiumé. Soddy és Marckwald vizsgálatai szerint, a rádiummal kevert mezothorium I, még frakcionált kristályosítással sem választható el, sőt még a mezothorium és rádium arányának megváltozását sem lehet elérni. A

úgy az ezüstnek gramm-atómnyi mennyiségében lévő ezüst-atómok száma

$\frac{9649.3}{1.59 \times 10^{-20}} = 6.07 \times 10^{23}$ lesz, s ez lesz bármely más elemi anyagnak, gramm-atómsúlynyi mennyiségében található atomok száma is. Ha a thorium atómsúlyát

232.12-nek vesszük, úgy az egy gramm thoriumban lévő atomok száma $\frac{6.07 \times 10^{23}}{232.12} =$

$= 2.61 \times 10^{21}$ lesz, ezek közül évente átalakul 1.42×10^{11} ; tehát $\frac{1.42 \times 10^{11}}{2.61 \times 10^{21}} = 5.44 \times$

$\times 10^{-11}$ év $^{-1} = \lambda$ a thorium bomlási együtthatója; $\frac{1}{5.44 \times 10^{11}} = 1.84 \times 10^{10}$ év =

$= T$ a thorium átlagos életkora és végül ezekből 1.28×10^{10} év = T a thorium bomlási félideje.

Coy az egy g thorium α -sugarai okozta telítési áramból, a thorium bomlási félidejét $T = 1.78 \times 10^{10}$ évnek, Heimann ugyanilyen méréseiből $T = 1.5 \times 10^{10}$ évnek és Aschmann 1.86×10^{10} évnek számítja. Ez adatok azonban, mivel a thorium vegyületei csak hosszabb idő múlva jutnak bomlási termékeikkel egyensúlyba s így kérdéses, hogy a kísérletnél használt thoriumvegyületek elég régiek voltak-e, másrészt kérdéses, hogy nincs-e bennük esetleg, aránylag nagyobb mennyiségű iónium is, továbbá, mivel a thoriumvegyületeket nem lehet végtelen vékony egyenletes rétegben úgy elteríteni, mint azt Rutherford, az α -sugarak megszámlálásánál, az elektrolizissal leválasztott rádium C-vel megtehetette, és végül, mivel a thorium-emanáció a szilárd thoriumvegyületekből sokkal könnyebben illanik el, mint a rádium-emanáció, meglehetősen nagy mérési hibák okozására alkalmasak; csak korlátozott megbízhatóságra tarthatnak számot. Megjegyezzük, hogy a thorium bomlási félideje, α -sugarainak hatótávolságából (2.72 cm), a Geiger és Nuttal-féle számítási mód alapján $T = 10^8$ év $^{-1}$ körül van, tehát az uránium hasonló állandójánál kisebb. Ez adatnak azonban ellentmond a thoriumvegyületek gyenge sugárzó-képessége.

thoriumtartalmú ásványokban mindig találunk több vagy kevesebb urániumot, tehát azokban rádium is van, ezért a forgalomban levő mezo-thorium mindig rádiumtartalmú és fordítva, mivel az urániumásványok thoriumtartalmúak, a rádium is mindig mezo-thoriumtartalmú. Mint említettük, Auer a joachimsthalai szurokérczben is talált, kismennyiségű, iónium-tartalmú thoriumot, tehát az ebből állított rádiumban, a mezo-thorium nyomainak kell lennie, de ennek mennyisége olyan csekély, hogy az ebből előállított rádiumot, gyakorlatilag mezo-thoriummentesnek tekinthetjük. Rádiummentes mezo-thoriumot csak úgy állíthatunk elő, ha gondosan megtisztított olyan thoriumvegyületet, melyből a mezo-thoriumot és a mellette lévő rádiumot elválasztottuk, néhány évig állni hagyjuk és az az ezen idő alatt újból keletkezett mezo-thoriumot választjuk le. Igaz ugyan, hogy a thorium mellett lévő ióniumból rádium is keletkezik, de ez a mennyiség rendkívül csekély, különösen akkor, ha a thorium, uránium-szegény ásványból ered.

A mezo-thorium I sugárzás nélkül alakul át, illetve, az újonnan előállított mezo-thorium I -en eddig semmiféle sugárzást megállapítani nem tudtak, de lehetséges, hogy alig észlelhető lágy β -sugárzás közben alakul át.

Ha a h_n vizsgálata szerint, a mezo-thorium I rádióaktív állandói:

$$\begin{array}{ll} \text{átlagos életkora} & \dots \dots \dots G = 7.9 \text{ év,} \\ \text{bomlási félideje} & \dots \dots \dots T = 5.5 \text{ év,} \\ \text{„ együtthatója} & \dots \dots \dots \lambda = 4.04 \times 10^{-9} \text{ sec}^{-1} \end{array}$$

A mezo-thorium I -ből keletkező, rövidéletű mezo-thorium II már β -, és, körülbelül a rádium C kilövellte γ -sugarakhoz hasonló sebességű γ -sugarakat lövell ki, ezért a mezo-thorium I , néhány nappal előállítás után, már erős γ -sugárzást mutat. A mezo-thorium II rádióthoriummá alakul, ebből a többi rövidéletű rádióaktív thoriumtermék keletkezik. Ez okból a mezo-thorium és a belőle keletkezett rádióaktív anyagok aktivitása, előállításuk után fokozatosan növekedik; ez mintegy 4–6 év alatt éri el maximumát, majd a mezo-thorium I bomlási sebességével arányosan, tehát 5-5 éves bomlási fél idővel, fokozatosan csökken.

Ha a thorium átlagos életkorát 1.84×10^{10} évnek, a mezo-thoriumét 7.9 évnek vesszük, úgy a mezo-thoriumnak a thorium egy tonnájával, tehát

$$1.000,000 \text{ grammjával egyensúlyban lévő mennyisége } \frac{7.9 \times 1.000,000}{1.84 \times 10^{10}} =$$

$= 0.0004 \text{ gramm} = 0.4 \text{ milligramm}$. Ez a mennyiség rendkívül csekély, s ez az egyik oka annak, hogy a mezo-thoriumot eddig nem sikerült vegytiszta állapotban előállítani. De a mezo-thorium átlagos életkora 7.9 év, a rádiumé, kerek számban 2500 év, ha, a számítás egyszerűsítése kedvéért föltételezzük, hogy a bomlási termékeivel egyensúlyban lévő mezo-thorium sugárzásának hatása egyenlő a bomlási termékeivel

egyensúlyban lévő rádium sugárzásának hatásával, úgy a mezothorium sugárzótehetsége $\frac{2500}{7.9} = 318$, tehát kerek számban háromszázszor akkora, mint a vele egyenlő súlyú rádiumé. A rádióaktív anyagok nagy keresettségé folytán, ez erősen aktív anyagot, az Auer-izzótestek készítésére évente 100—200 tonnányi mennyiségben földolgozott thoriumvegyületekből, gyárilag állítják elő.

A mezothorium *I*, a kénsavval föltárt monaczithomok oldhatlan részében marad vissza és mivel ennek chemiai tulajdonságai hasonlóak a rádiuméhoz, ezt ebből ugyanolyan módon állítják elő, mint a rádiumot az urániumszirokércz maradékából.

Mint említettük, a mezothorium *I*-et, Soddy és Markwald vizsgálatai szerint, nem lehet a rádiumtól elválasztani és miután a monaczithomokban mindig találunk urániumot, az ebből előállított mezothorium mindig rádiumtartalmú. Soddy ilyen mezothoriumkészítményt frakcionált kristályosításnak vetett alá s sikerült olyan készítményt nyernie, amelynek γ -aktivitása körülbelül négyszer akkora volt, mint a vele egyenlő súlyú rádiumklorid γ -aktivitása. A készítmény aktivitása további kristályosításra nem változott s szerinte e készítmény, 99% rádiumklorid mellett, 1% mezothoriumkloridot tartalmazott és a sugárzásnak csak egy negyede eredt a rádiumtól és bomlási termékeitől, háromnegyede pedig a mezothoriumtól és bomlási termékeitől. A mezothorium név alatt forgalomba kerülő készítmények főtömege valamilyen báriumvegyület, leginkább báriumklorid s ebben, aránylag nagyobb mennyiségű rádium mellett, elenyésző kismennyiségű mezothorium található. *Egy milligramm mezothorium alatt, e keveréknek az a mennyisége értendő, amelynek γ -sugárzása egyenértékű egy milligramm rádium γ -sugárzásával.* Miután a mezothorium átlagos életkora sokkal rövidebb mint a rádiumé, azért ennek értéke is kisebb. A mezothoriumsugárzás 5.5 évenként a felére csökken, de mivel a mezothorium rádiumot is tartalmaz, sugárzásának egy része, mérhető időn belül állandó marad.

Mezothorium II. A frissen készült mezothorium *I*-en, mint említettük, sugárzás nem észlelhető, de már néhány órai állás után, azon erős β - és γ -sugárzás állapítható meg. E sugárzás az időközben keletkezett mezothorium *II*-től ered. A mezothorium *II*-t, a mezothorium *I*-től könnyen elválaszthatjuk, ugyanis, ha a mezothorium *II*-tartalmú, mezothorium *I*-oldatban, kevés zirkon- vagy thoriumvegyületet oldunk, s ez oldatot, ammóniával lúgossá teszszük, úgy a mezothorium *I* az oldatban marad, míg a mezothorium *II* a zirkonium-vagy thoriumhidroxiddal leválik.

A mezothorium *II* β -sugarai nem egyenműek. Ezek felét 0.18—0.34 cm vastag alumíniumlemez, a γ -sugarak felét 1.1 cm vastag ólom- vagy 1.85 cm vastag rézlemez nyeli el.

A mezothorium II rádióaktív állandó. H a h n szerint:

átlagos élettára	--- --	$\Theta = 8.9$ óra
bomlási félideje	--- --	$T = 6.2$ óra
„ együtthatója	---	$\lambda = 3.1 \times 10^{-5} \text{ sec}^{-1}$

Rádióthorium. A rádióthorium, a mezothorium II-ből keletkezik s tőle abban különbözik, hogy α -sugarakat lövell ki és hosszabb életű. A rádióthorium, az idősebb mezothoriumos készítményekből ugyanúgy választható le, mint a mezothorium II. Az így előállított rádióthorium mezothorium II tartalmú, de a mezothorium II sokkal rövidebb életű lévén, hamarosan elbomlik. A rádióthorium a thoriumhoz chemiaillag annyira hasonló, hogy tőle nem választható el, s csak úgy állítható elő, hogy ebből először a mezothoriumot választjuk le s csak emellől választhatjuk el, az időközben újból keletkezett rádióthoriumot. A rádióthoriumot egy ceyloni thorionitban H a h n, 1905-ben előbb fedezte föl mint a mezothoriumot, de olymódon, hogy a thorium vegyületei mellől előbb, öntudatlanul is, a mezothoriumot választotta el, amelynek gyengébben ionizáló β - és γ -sugarai, kezdetben elkerülték figyelmét. A rádióthoriumban idővel thorium X, thorium-emanáció és a rádióaktív lerakódások halmozódnak föl.

A rádióthorium rádióaktív állandói:

átlagos élettára	--- --	$\Theta = 2.9$ év
bomlási félideje	--- --	$T = 2.0$ év
„ együtthatója	---	$\lambda = 1.09 \times 10^{-8} \text{ sec}^{-1}$

α -sugarainak hatótávolsága 3.87 cm. Újabb vizsgálatok szerint, a rádióthorium még β - és kis sebességű γ -sugarakat is lövell ki.

Thorium X. Nemsokára az uránium X fölfedezése után, R u t h e r f o r d és S o d d y, a thorium vegyületeit vizsgálva azt tapasztalták, hogy ha, az oldatukból ammóniával kicsapott thoriumvegyületekről leszűrt oldatot bepárologtatták és az ammóniumsókat elűzték, úgy kismennyiségű, erősen rádióaktív anyag maradt vissza, amelyet *thorium X*-nek neveztek el. A thorium X történeti szempontból nevezetes, mert Rutherford és Soddy ezen az anyagon tapasztalták, hogy a thoriumtól elválasztott thorium X idővel elbomlik, s hogy a thorium X-től megtisztított thoriumvegyületekben ez anyag regenerálódik. Megállapították a thorium X átalakulási sebességét, valamint azt, hogy ez anyagból keletkezik a thorium-emanáció s e tanulmányaikra támaszkodva állították föl elméletüket, amely atómbomlással magyarázza a rádióaktivitás jelenségét.

A Rutherford és Soddy leirta módon előállított thorium X nem tiszta, mert ammóniával való kezelés után nemcsak thorium X, hanem a többiek között mezothorium I is, az oldatban marad. Az így

előállított anyag tehát, különböző rádióaktív anyagok keveréke. De Rutherford és Soddy kísérleti berendezésében főképp a thorium X α -sugarai érvényesültek és így e kísérletezők, e keveréken tényleg a thorium X sajátosságait figyelték meg; a tőlük megállapított bomlási állandók is, a tisztább készítményekkel végzett újabb vizsgálatoknak nagyjában megfelelnek. (Rutherford és Soddy régi vizsgálatai szerint $T=4$ nap, Lerch, Coy és Viol szerint $T=3\cdot64$ nap).

Lerch vizsgálatai szerint, a thorium X kémiai viselkedése, a bárium és a rádiumhoz hasonló. Miután a mezothorium I szintén ezekhez hasonlóan viselkedik, ezért közvetlenül thoriumvegyülethől thorium X-et előállítani nem lehet. Rádióaktív értelemben tiszta thorium X-et csakis rádióthoriumból állíthatunk elő, Lerch szerint oly módon, hogy a rádióthorium oldatához kevés báriumkloridot, majd kénsavat adunk, amikor a thorium X, a bárium-szulfáttal válik le, vagy pedig Coy és Viol szerint oly módon, hogy a rádióthorium oldatában valamilyen aluminiumvegyületet oldunk, és ezt hidroxid alakjában kicsapjuk, majd a leszűrt és megsavanyított oldatban kevés thoriumnitrátot oldunk s ezt szintén hidroxid alakjában kicsapjuk; így a rádióthoriumot az oldatból teljesen eltávolítjuk, a thorium X az oldatban marad vissza. Az így nyert thorium X mellett még az emanációból keletkezett rádióaktív lerakódások egy része lehet. Ezekről mentesen, Coy és Viol szerint úgy kaphatjuk, ha a thorium X leválasztása előtt az oldatban kismennyiségű higany-, ólom- vagy bizmutvegyületet oldunk, majd ezeket kénhidrogénnel kicsapjuk. E csapadék a rádióaktív lerakódást magával ragadja.

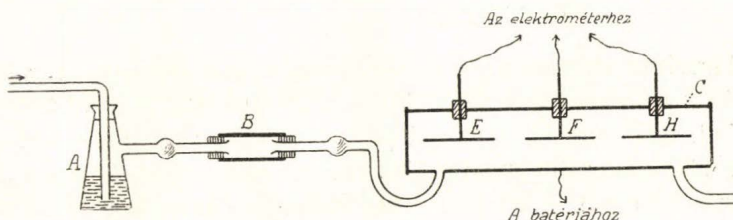
A thorium X α -sugarakat lövell ki.

α -sugarainak hatótávolsága $4\cdot3$ cm.:

átlagos életkora	--- --	$\Theta = 5\cdot25$ nap
bomlási félideje	--- --	$T = 3\cdot64$ nap
„ együtthatója	--- --	$\lambda = 2\cdot2 \times 10^{-6} \text{ sec}^{-1}$

Thorium-emanáció. A thorium-emanációt 1899-ben Rutherford és Owens fedezték föl. A rádium-emanációhoz hasonlóan, ez is gázalakú s attól abban különbözik, hogy sokkal rövidebb életű (a rádium-emanáció bomlási félideje $3\cdot86$ nap, a thorium-emanációé $54\cdot5$ másodperc). Miután a thorium-emanáció oly rövidéletű, ennek átalakulási sebessége nem határozható oly módon meg, mint azt a rádium-emanációnál leírtuk. Rutherford e célra a 44. rajzon föltüntetett készüléket használta. B üvegcső, amelyben valamilyen szilárd thoriumvegyület volt elhelyezve, egyik oldalán A mosópalaczkkal, a másik oldalán C, 6 centiméter átmérőjű, 75 centiméter hosszú fémhengerrel volt légzáróan összekötve. A kísérlet alatt, az egész készüléken állandó sebesség-

gel, levegő áramlott keresztül. Az *A* mosópalaczkban kénsav volt. Ez részben a levegő megszáritására, részben a levegőáram sebességének meghatározására szolgált. A *B* üvegcső előtt és után alkalmazott, gyapottal töltött tekék, a kénsavcseppecskék és a porszemcsék visszatartására szolgáltak. A *C* fémhenger elektromos akkumulátortelep egyik sarkával volt összekötve, s ebbe, ettől szigetelten, *E*, *F* és *H* fémlektrodok nyultak, amelyek vezetéke, egy kapcsoló szerkezeten át, kvadránselektrométerrel, olymódon volt összekötve, hogy fölváltva, akár az egyik, akár a másik lektrodot kapcsolhatták az elektrométerrel, míg a másik két lektrod ugyanakkor a földdel állott összeköttetésben. Miután, a szilárd thoriumvegyületekből is, az emanáció nagyon könnyen fölszabadul, az áramló levegő, a *B* csőből thorium-emanációt ragadott magával, de mivel, a thorium-emanáció gyorsan bomlik, ebből, ha a levegőáram nem túlságosan gyors, az első lektrodhoz, észrevehetően több emanáció jut bom-



44. rajz.

latlanul, mint a másodikhoz, és emehez ismét több, mint a harmadikhoz s így a három lektrodon mért telítési áram különböző lesz. E különbségekből a bomlási sebesség kiszámítható.

A thorium-emanáció abban is különbözik a rádium-emanációtól, hogy míg a rádium-emanáció, szilárd rádiumvegyületekből nehezebben szabadul ki, addig a thorium-emanáció, nemcsak az oldatokból, de a legtöbb szilárd thoriumvegyületből is, aránylag könnyen, diffundálódik.

A thoriumvegyületekből, illetve az azokkal egyensúlyban lévő thorium *X*-ből, csak nagyon kevés thorium-emanáció keletkezik, úgy hogy annak jelenlétét csak érzékeny, elektromosságot mérő módszerekkel határozhatjuk meg, de amióta a thoriumtartalmú ásványok földolgozásánál nyert maradékból, a mezothoriumot gyárilag állítják elő, ebből, olyan tömény rádióthoriumos, illetve thorium *X*-es készítmények állíthatók elő, amelyekkel, a belőlük keletkező emanáció sajátosságai, nagyobb számú hallgatóságnak is, bemutathatók.

A cseppfolyós levegővel lehűtött thorium-emanáció, Loria kísérletei szerint, levegőáramban -164° -nál kezd észrevehetően illanni, -150° -nál körülbelül a fele és -125° -nál utolsó nyoma is elillan. A thorium-emanáció elpárolgása eszerint, a rádium-emanációénál nagyobb

hőmérsékletközökben történik. Ennek oka azonban, minden valószínűség szerint, a thorium-emanáció sokkal gyorsabb elbomlásában rejlik.

Leslies M. S. a thorium-emanáció atómsúlyát, diffúziós kísérletekből 201—202-nek kapta. E szám meglehetősen egyezik a thorium-emanáció számított atómsúlyával (220), de e kísérletek kevésbé megbízhatók, mert a sokkal bomlékony rádium-emanációval végzett hasonló kísérletek is, nagyon eltérő eredményeket adtak.

A thorium-emanáció kémiai viselkedése, teljesen hasonlít a rádium-emanációéhoz és sajátságai, az argoncsoportjába tartozó gázokéra emlékeztetnek.

A thorium-emanáció α -sugarakat lövell ki, α -sugaraik ható távolsága 5 centiméter.

átlagos életkora ---	$\Theta = 78.7$ másodperc
bomlási félideje ---	$T = 54.5$ másodperc
„ együtthatója ---	$\lambda = 1.27 \times 10^{-2} \text{ sec}^{-1}$

Thorium A. Geiger és Marsden már régebben tapasztalták, hogy, ha thorium-emanáció, belülről cinkszulfiddal bevont üvegcsővön át halad, úgy nagyítón vizsgálva, a fölvillanások párosával jelentkeznek, sőt, pontosabb megfigyelésénél azt is észrevették, hogy a páros fölvillanások egyes villogásai, nem teljesen egyidejűek, hanem azok nagyon rövid időközben követik egymást. Geiger és Rutherford e jelenségből azt következtették, hogy a thorium-emanáció közvetlen átalakulási terméke egy rendkívül rövidéletű α -sugárzó rádióaktív anyag, amely, közvetlenül keletkezése után, egy α -részcseke kilövellése közben elbomlik. E föltételezett anyagot thorium A-nak nevezték el. Noha a thorium A rendkívül rövidéletű, mégis sikerült Geiger-nek és Rutherford-nak létezését, más úton is bizonyítani, sőt Mosley és Fajans, szellemesen kigondolt kísérlettel, bomlási állandóit is megállapította.

Ha belső oldalán cinkszulfiddal bevont üvegcsővön keresztül, amelyben egy szigetelt fémsodrony nyulik, thorium-emanáció haladt át, úgy sötétben a cinkszulfid, a thorium-emanáció és a thorium A kilövellte α -sugaraik hatására, egyenletesen világít. Ha azonban az üvegcsőbe nyúló fémsodronyt, nagyobb feszültségű villamostelep negatív sarkával kötjük össze, úgy a cinkszulfid, az üvegcsőnek a fémsodronnyal szemben lévő részén jóval erősebben világít, de elsőttől, mihelyt a sodrony töltését elvonjuk, jelöl, hogy a thorium A, a villamossággal töltött sodronyra csapódik le.

A thorium A bomlási sebességének megállapítására, Mosley és Fajans, vízszintesen fekvő üvegcsőbe kevés rádióthoriumot helyeztet el. Az üvegcső két végét közepén átfúrt ebonitdugóval zárták el. Az ebonitdugó furatán, két csigakerék között kifeszített és a két végén

összeforrasztott, végtelen platinadrótot húztak át. Az egyik csigakereket villamosmotorral kötötték össze, a sodronynak, az üvegcsőből kiálló részével párhuzamosan, ahhoz közel, cinkszulfiddal bevont lapot helyeztek el s magát a sodronyt, nagyfeszültségű villamostelep nemleges sarkával kötötték össze. A rádióthorium, illetve thorium X-ből, thorium-emanáció keletkezett s ebből a fémsodronynak emanációval érintkező részére, thorium A csapódott le. A cinkszulfidos lap addig, amíg a motor nem működött, sötét maradt, de amint a motort megindították, a cinkszulfidos lap egy része világított és pedig annál hosszabb darabon, minél gyorsabban mozgott a motor s azzal a csigákra kifeszített sodrony. Meghatározva a motor sebességét, az azzal összekötött csiga átmérőjét és a cinkszulfidos lap megvilágított részének hosszát, kiszámították a thorium A bomlási félidejét, melyet $1/7$ másodpercznek találták.

A thorium A α -sugarakat lövell ki.

α -sugarainak hatótávolsága 5·7 centiméter (15°-on 760 mm barométer állás mellett).

Bomlási állandói, Mosley és Fajans kísérleteiből számítva:

átlagos életkora ... $\Theta = 0\cdot20$ másodpercz

bomlási félideje ... $T = 0\cdot14$ másodpercz

„ együtthatója ... $\lambda = 4\cdot95 \text{ sec}^{-1}$

Thorium B. Régebben (1911 előtt) ezen anyagot tartották a thorium-emanáció közvetlen átalakulási termékének és a régibb közleményekben és kézikönyvekben ez, thorium A néven szerepel. Az olyan készülék falain, melyekben thorium-emanáció áramlik, thorium B, thorium C és thorium D rakódik le. Ha thorium- vagy rádióthoriumvegyületet nagyfeszültségű villamostelep pozitív sarkával összekötött fémedénybe teszünk, amelybe, a telep nemleges sarkával összekötött fémsodrony nyulik, úgy ez anyagok erre csapódnak le. Ha az ilyen sodronyt levegőben, 700° körüli hőmérsékletre hevítjük, úgy Slatter J. M. W. és Cook-Gattes F. szerint, a thorium B arról elszublimál, míg a thorium C visszamarad.

A thorium B-t kezdetben, miként a rádium B-t is, sugárzás nélkül átalakuló anyagnak tartották. Később Lerch és mások kimutatták, hogy ez kis sebességű β -sugarakat lövell ki, sőt Rutherford és Richardson vizsgálatai szerint kis sebességű γ -sugarak jelenléte is megállapítható.

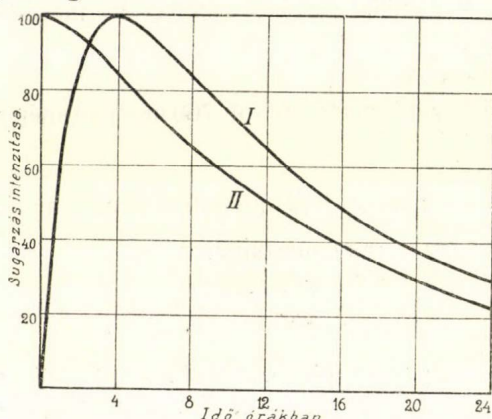
A thorium B kilövellte β -sugarak felét 0·045 cm vastag aluminium-lemez elnyeli.

átlagos életkora ... $\Theta = 15\cdot3$ óra,

bomlási félideje ... $T = 10\cdot6$ óra,

„ együtthatója ... $\lambda = 1\cdot82 \times 10^{-5} \text{ sec}^{-1}$

Thorium C. Ha nemleges villamossággal töltött és a thorium-emanáció hatásának, rövid ideig kitett fémsodrony α -sugárzásának változását figyeljük, úgy a megfigyelés elején csak gyenge sugárzást fogunk azon észrevenni, amely kezdetben rohamosan nő, majd, mintegy három-négy óra múltán, a maximum elérése után, lassan, 10·6 órás bomlási félidővel csökkenni kezd. Ha a sodronyt több órán át teszszük ki az emanáció hatásának, úgy az α -sugárzás intenzitása mindjárt a megfigyelés elején, csökken. A csökkenés azonban eleinte valamivel kisebb, később azonban, az előbb észlelttel arányos. A thorium-emanáció hatásának rövid ideig, kitett sodronyon észlelhető α -sugárzás változását, a 45. rajzon I-es számmal, a hosszabb ideig kitett sodronyon észlelhető változást a II-es számmal jelölt görbe érzékelteti. E változásnak oka, hogy a thorium-emanációból



45. rajz.

keletkezett, rendkívül rövidéletű thorium A, a csak alig észlelhető β -sugarakat kilövellő thorium B-vé s ez, az α -sugárzó thorium C-vé alakul át, miért is, ha a sodrony csak rövid ideig volt az emanáció hatásának kitéve, úgy azon eleinte csak nagyon kevés thorium C lesz, de a reácsapódott thorium B fokozatosan, az utóbbi anyaggá alakul át; az α -sugárzás ezért egy ideig erősödik, 3—4 óra múltán beáll az egyensúly s

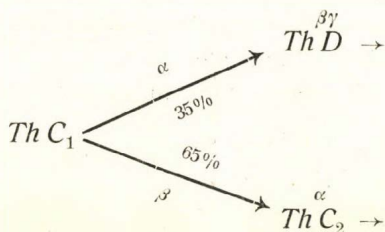
ez időtől fogva a sugárzás csökkenése észlelhető. Ha a sodrony több órán át volt az emanáció hatásának kitéve, úgy azon a thorium B-n kívül, már nagyobb mennyiségű thorium C is lesz, ezért az α -sugárzás rögtön a megfigyelés elején csökkenni kezd, de mivel ekkor még a thorium-B túlsúlyban van, a csökkenés az egyensúly beálltáig valamivel lassabb lesz.

Hogy a leírt változást tényleg, két egymásból keletkezett anyag okozza bizonyítja, hogy e két anyag egymástól elválasztható. Így például a thorium B könnyebben szublimál, mint a thorium C. Ha a thorium-emanáció rádióaktív lerakódását sósavban oldjuk, s az oldatba nikkellemezt mártunk, úgy Lerch szerint erre, thorium C csapódik le, míg a thorium B az oldatban marad.

A thorium C bomlási állandói Coy Mc és Viol H. vizsgálatai szerint :

átlagos életkora	...	$\Theta = 87.7$ percz,
bomlási félideje	...	$T = 60.8$ percz,
„ együtthatója	...	$\lambda = 1.90 \times 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$

Thorium C α - és β -sugarakat lövell ki. Az α -sugarak hatótávolsága, Hahn O. vizsgálatai szerint különböző és a sugarak nem egyneműek, hanem két, 8·6, illetőleg 5 cm hatótávolságú sugarak keverékei. E megfigyelést Marsden E. és Barratt T. megerősítették, és az egyik α -sugárcsoport hatótávolságát 8·6, a másikat 4·8 centiméternek állapították meg. Hasonló eredményre jutottak még Geiger és Nuttal, továbbá Rutherford és Wood is. E körülményből azt következtetik, hogy a thorium C -nek nevezett anyag nem egynemű, ez két α -sugárzó anyagból állana, amelyek egyikét thorium C_1 , a másikat thorium C_2 -nek jelölhetjük. Ezek közül a thorium C_2 a thorium C_1 -ből keletkezik, a thorium C_2 lövellné ki a 8·6 centiméteres hatótávolságú α -sugarakat s miután Geiger és Nuttal szabálya szerint ilyen nagy hatótávolságú α -sugarat csak rendkívül rövidéletű, körülbelül 10^{-11} másodperces átlagos életkorral bíró anyag lövell ki, ezt anyatermékétől elválasztani nem lehet. A thorium C_1 e föltevés szerint, mint a rádium- C_1 kettős alakulást szenvedne, amelynek egyike α -, a másika β -sugárzás közben menne végbe, az előbbinek átalakulási terméke a thorium D , az utóbbié a thorium C_2 volna. Marsden E. és Barrath T. megfigyelték, a thorium C -vel bevont lemeztől különböző távolságokra helyezett cinkszulfidos lapon jelentkező villanások számát, s e kísérletükből azt következtetik, hogy az összes α -sugarak 65%-át a nagyobb hatótávolságú és 35%-át a kisebb hatótávolságú α -sugarak teszik ki, vagyis a thorium C_1 az összes α -sugarak 35%-át és a thorium C_2 ezek 65%-át lövell ki. Eszerint a thorium C_1 átalakulási módját az alábbi vázlat fejezi ki:



Ez átalakulás quantitativ lefolyását Soddy következőképpen magyarázza: A thorium C_1 kétféle átalakulást szenved oly módon, hogy, váltakozva, α - és β -sugarakat lövell ki. Az α -sugárzás közben végbenő átalakulásának terméke a β - és γ -sugarakat kilövellő thorium D , a β -sugárzás közben szenvedett átalakulásának terméke a rendkívül rövidéletű, α -sugárzó thorium C_2 . A thorium C_1 -nek ennél fogva kétféle átalakulási sebessége lesz, és ha Q -val a thorium C_1 mennyiségét és $\lambda\alpha$ -val annak α -sugárzás közben, $\lambda\beta$ -val pedig a β -sugárzás közben szenvedett átalakulásának bomlási együtthatóját jelöljük, úgy a thorium C_1 , adott mennyiségének, végtelen kis idő alatt elbomló mennyisége:

$$\frac{dQ}{dt} = Q\lambda_{\alpha} + Q\lambda_{\beta}, \text{ illetve}$$

$$\frac{dQ}{dt} = Q(\lambda_{\alpha} + \lambda_{\beta}) \text{ lesz, s így}$$

mennyiségének változását az alábbi egyenlet fejezi ki:

$$\frac{Qt}{Q_0} = e^{-(\lambda_{\alpha} + \lambda_{\beta})t}$$

De a kétféle bomlási együtthatót, miután a kétféle átalakulás váltakozva, tehát látszólag egyszerre folyik le, külön-külön, kísérletileg megállapítani nem tudjuk; kísérletileg csak a thorium C_1 teljes átalakulásának bomlási együtthatóját ($\lambda_{C_1} = 1.90 \times 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$) állapíthatjuk meg. De

$$\lambda_{C_1} = (\lambda_{\alpha} + \lambda_{\beta});$$

ezenkívül, a bomlási együtthatók arányosak, a bomláskor keletkezett termékek viszonyos mennyiségével, tehát:

$$\lambda_{\alpha} : \lambda_{\beta} = 35 : 65$$

E két egyenlet alapján kiszámíthatjuk λ_{α} és λ_{β} értékét, vagyis

$$\begin{aligned}\lambda_{\alpha} &= 0.665 \times 10^{-4} \text{ sec}^{-1} \\ \lambda_{\alpha} &= 1.235 \times 10^{-4} \text{ sec}^{-1} \\ \lambda_{C_1} &= 1.900 \times 10^{-4} \text{ sec}^{-1}\end{aligned}$$

Ezek szerint a thorium C_1 α - és β -sugarakat lövell ki, α -sugarainak hatótávolsága 4.8 cm, β -sugarainak felét elnyeli 0.48 cm vastag alumíniumlemez.

$$\left. \begin{aligned}\lambda_{\alpha} &= 0.665 \times 10^{-4} \text{ sec}^{-1} \\ \lambda_{\beta} &= 0.135 \times 10^{-4} \text{ sec}^{-1}\end{aligned} \right\} \lambda_{C_1} = 1.90 \times 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$$

$$\left. \begin{aligned}T_{\alpha} &= 173.7 \text{ perc} \\ T_{\beta} &= 93.5 \text{ perc}\end{aligned} \right\} T_{C_1} = 60.8 \text{ perc}$$

$$\left. \begin{aligned}\Theta_{\alpha} &= 250.6 \text{ perc} \\ \Theta_{\beta} &= 134.8 \text{ perc}\end{aligned} \right\} \Theta_{C_1} = 87.7 \text{ perc}$$

A thorium C_2 α -sugarainak hatótávolsága = 6.8 cm.¹

¹ Rutherford és Wood újabban (1916-ban) megjelent közleménye szerint, a thorium C_1 az említett 6.8 és 4.8 centiméteres hatótávolságú α -sugarakon kívül, igen kis számban még, 10.2 és 11.3 centiméteres hatótávolságú α -sugarakat is lövell ki. Ha ez állítás beigazolódik s minden egyes α -sugártípusnak egy-egy átalakulási termék felel meg, úgy a thorium C átalakulási módja sokkal bonyolultabb, mint azt fentebb leírtuk.

elemek közül a bizmut atómsúlya közelíti meg leginkább, kezdetben a bizmutot tartották a thorium rádióaktív bomlásának végtermékeként. E föltevésnek azonban ellentmond, hogy bizmutot a thorium-tartalmú ásványokban csak ritkán találunk. Soddy, Hönigschmid¹ és Fajans azt vitatják, hogy a thoriumnak is, miként az urániumnak, illetve rádiumnak, végterméke az ólom lenne. De a thoriumtartalmú ásványokban aránylag kevés ólom található, ezért erről azt tartják, hogy az sugártalanul tovább alakulna s belőle thallium keletkeznék. E kérdésről részletesebben, e könyv utolsó fejezetében szólnak.

A thorium és mezhorium mennyiségi meghatározása. Mivel a thorium, még az esetben is, ha bomlás termékeivel egyensúlyban van, csak gyenge sugárzó tehetséggel bír, csak a rendes elemző kémiai módszerekkel határozható meg. A kőzetekben és ásványokban található kismennyiségű thoriumot, a rádiumhoz hasonlóan, az emanációs módszerekkel határozzuk meg. Eczébből a kőzetet épp úgy készítjük elő, mint azt a rádium vizsgálatánál leirtuk s az ebből fejlődő thorium-emanáció okozta vezetőképességet, ismert mennyiségű thoriumot tartalmazó és hasonló módon előkészített ásványból¹ fejlődő thorium-emanáció okozta vezetőképességgel hasonlítjuk össze. De mivel a thorium-emanáció, a rádium-emanációnál sokkal gyorsabban bomlik, meghatározás közben, a vizsgálandó anyag és az ionizációs kamrán át, egyenletes áramban állandóan levegő áramlik s az egyenletesen áramló levegő emanációtartalmát mérjük, illetve hasonlítjuk össze. Ezenkívül, mivel a thoriumtartalmú kőzetekben és ásványokban, mindig kisebb-nagyobb mennyiségű rádiumot is találunk, azokból a rádium-emanációt előzetesen, forralással vagy kihevitással el kell űznünk.

E meghatározási módszernek több hibaforrása van, legnagyobb nehézséget okozza, hogy az áramló levegővel, a thorium-emanációnak csak egy része kerül az ionizáló kamrába, ezért az összehasonlító mérés csak akkor ad pontos eredményt, ha a két mérésnél, a kísérleti körülmények teljesen azonosak. Mivel ezt tökéletesen elérni nem lehet, azért az ily módon nyert adatok csak korlátozott megbízhatóságra tarthatnak számot. Meg kell jegyeznünk, hogy a thorium-emanáció meghatározására, lehetőleg külön készüléket használunk. Ugyanis a thorium rádióaktív lerakódásai közül a thorium *B*-nek sokkal hosszabb az élettartama ($T = 10.6$ óra), mint a rádium-emanációból keletkezett, rövidéletű rádióaktív lerakódásoknak és ez a meghatározás ideje alatt folyton áramló és az ionizációs kamrában elbomló emanációból aránylag nagyobb mennyiségben keletkezik és rakódik le annak falaira, úgy hogy az ebből

¹ Közöséges thoriumvegyületek erre a célra nem alkalmasak, mivel a megtisztított thoriumvegyületek, csak hosszabb idő múlva jutnak, bomlástermékeikkel egyensúlyba.

keletkező thorium *C* sugárzása, a készüléket, pontosabb mérésekre, hosszabb ideig alkalmatlanná teszi.

Arról, hogy a talált vezetőképességet thorium-emanáció sugárzása okozta, könnyen meggyőződhetünk. Ugyanis, ha a vizsgálat megejtése után a levegőáramot megszüntetjük, úgy az ionizációs kamrában lévő emanáció gyorsan elbomlik. Ha a kamrában maradt levegő vezetőképességét tovább is figyeljük, úgy azt fogjuk tapasztalni, hogy az, az emanáció elbomlása után, egy ideig emelkedik s aszerint, amint az eredeti vizsgálat hosszabb vagy rövidebb ideig tartott, 2—3 óra múlva maximumot ér el, majd 10·6 órás bomlási félidővel csökkenni fog, szóval a vezetőképesség változása, a 45. rajzon föltüntetett képet fogja mutatni.

Mint a mezothorium leírásánál említettük, egy milligramm mezothorium alatt, az ilyen készítménynek azon mennyiségét értjük, amelynek γ -sugárzása egy milligramm, gyorsan bomló termékeivel egyensúlyban lévő rádium γ -sugárzásával egyenértékű. A meghatározás teljesen úgy történik, mint azt a rádiumnál leirtuk, de e mennyiségének meghatározása ma még bizonytalan. Ugyanis, amíg a rádium bomlási termékei közül csak a rádium *C* lövell ki olyan sebességű γ -sugarakat (ezek felét elnyeli 1·38 cm vastag ólomlemez), amelyek a készüléken alkalmazott ólomlemezen, észrevehető mennyiségben átjutnak, addig a mezothorium bomlástermékei közül, kettő lövell ki ilyen γ -sugarakat. Ezek közül a mezothorium *II* kilövellte γ -sugarak felét 1·1 centiméter, a thorium *D* átalakulásakor keletkező γ -sugarak felét, 1·5 centiméter vastag ólomlemez nyeli el. Miután a kétféle sugárnak fémeket átjáró tehetsége egymástól, és a rádium *C* γ -sugaraiktól is, meglehetősen különböző, egy-egy, ugyanazon mennyiségű rádiumot és mezothoriumot tartalmazó készítményből, a sugaraknak különböző mennyisége fog az ionizációs térbe jutni, aszerint, amint a meghatározás végzésére más és más alakú készüléket, vagy a sugarak egyrészének visszatartására, más és más vastagságú ólomlemez használunk. Miután e kérdésben még nincs egységes megállapítás, az ilyen mérések eredményeként közölt értékek meglehetősen különbözők lehetnek, de különböznek aszerint is, amint újabb vagy régibb mezothoriumos készítmény mennyiségét vizsgáljuk. Ugyanis a mezothorium és thorium *D* közé, az aránylag hosszúéletű rádióthorium ékelődik, ennél fogva a különböző életkorú mezothoriumos készítményekben, a mezothorium *II* és a thorium *D*-nek, ennél fogva az azokból kilövellt különböző sebességű γ -sugaraknak viszonyos mennyisége is folyton változik, ami a mérés eredményét, természetesen, befolyásolja.

Aktinium és átalakulási termékei.

Előfordulása. Az aktiniumot az urániumtartalmú ásványokban, leginkább az urániumszurokérczben találjuk. E körülményből azt következtetik, hogy miként a rádium, az aktinium is az urániumból keletkezik, de mivel ennek, az urániumszurokérczben található mennyisége csak nagyon csekély (a sugárzása alapján ítélve, az abban található rádium mennyiségének körülbelül 8 százaléka), az aktinium sorozatot, az urániumsorozat mellékágának tekintik. Azt, hogy az elágazás az uránium Y-nál vagy az urániumsorozat valamely másik tagjánál kezdődik, eddig eldönteni nem sikerült, mert, noha ez irányban több kísérletet végeztek, az urániumsorozat egyetlen tagjáról sem sikerült kísérletileg kimutatni azt, hogy abból, bármily kismennyiségű aktinium keletkeznék.

Története. 1899-ben Debierne, urániumszurokérczből nyert, nyers báriumrádiumszulfát megtisztítása közben, az ammóniával nyert csapadékban, új rádióaktív anyagot talált, amelyet aktiniumnak nevezett el. 1902-ben Giesel, ugyancsak az urániumszurokérczből, főtömegében cerium és lanthan vegyületeiből álló, olyan keveréket választott le, amely rádióaktív tulajdonságokat mutatott, és amelyből gyorsan bomló emanáció keletkezett. Giesel azt hitte, hogy újabb, eddig ismeretlen rádióaktív anyagot fedezett föl, amelyet *emanium*-nak nevezett el. Későbbi vizsgálatokból kiderült, hogy a Giesel-féle emanium azonos Debierne aktiniumával. Boltwood és Rutherford megállapították, hogy úgy a Debierne, mint a Giesel előállította anyagokból lassan, kismennyiségű rádium keletkezik. E vizsgálatok alapján, kezdetben az aktiniumot, a rádium közvetlen anyaelemének tartották, későbbi vizsgálatok azonban kimutatták, hogy a Debierne és Giesel előállította készítmények óniumtartalmúak voltak s a rádium ebből keletkezett.

Előállítás. Az urániumszurokércz földolgozásánál, illetve az uránium előállításánál nyert rádiumtartalmú maradék durva megtisztítása után, az aktinium főtömegét a nyers báriumrádiumszulfátban találjuk. A nyers szulfátok föltárása, és a feltárt anyagnak kénhidrogénnel és ammóniával való megtisztításakor, az aktinium, a thoriummal és az óniummal együtt, az ammóniával nyert csapadékban van, amely főtömegében vas- és

aluminiumhidroxidból, kovasavból és a ritkaföldek hidroxidjaiból áll. A csapadékot először a vas, aluminium és kovasavtól tisztítják meg, majd a ritkaföldek vegyületeit, a thoriumnál leírt eljárásokkal választják el egymástól. Az aktinium ilyenkor a lanthan mellett marad, amelytől, eddig nem sikerült elválasztani. Auer-nek sikerült ez eljárással olyan aktinium-tartalmú készítményeket előállítani, amelyeknek α -aktivitása (amikor a bennük levő aktinium bomlási termékeivel már egyensúlyban volt), az uránium α -aktivitásának 100,000-esét is fölülmulta. Auer szerint, ha aktiniumtartalmú anyagok oldatában valamilyen mangánvegyületet oldunk, s az oldatot lúgossá teszszük, úgy a lanthan-mangántartalmú csapadék, az aktiniumot, teljes egészében magával ragadja.

Chemiai tulajdonsága. Az aktinium kémiai tulajdonságairól, mivel tisztán előállítani nem sikerül, nagyon keveset tudunk. Auer úgy véli, hogy kémiai sajátosságai a lanthan és a kalcium közé esnek. A legtöményebb aktiniumkészítmények színekében sem sikerült, aktiniumnak tulajdonítható vonalat fölfedezni. Fajans, hogy az aktiniumot, e könyv utolsó fejezetében ismertetendő rendszerbe beoszthassa, annak atomsúlyát 227-nek veszi. E rendszerbe beosztva, az aktiniumnak három vegyértékűnek kell lennie. Hevesy György, aktiniumos készítményekkel végzett diffúziós kísérleteiből szintén, az aktinium háromvegyértékűségére következtetett.

Rádióaktív viselkedése. Az aktiniumnak rádióaktív viselkedéséről való ismereteink szintén igen homályosak, mert a bomlási termékeitől gondosan megtisztított aktiniumtartalmú anyagok α -sugárzása igen gyenge, miből az aktinium esetleges kettős átalakulására következtetnek, amennyiben annak csak egy kis hányada alakulna át α -sugárzás közben, míg az aktinium főtömege sugárzás nélkül, vagy igen lágy β -sugarak kilövellése közben bomlana el. De lehetségesnek tartják azt is, hogy az α -sugárzás, az aktinium mellé keveredett, kismennyiségű rádióaktív anyagtól eredne és az aktinium sugártalanul, vagy lágy β -sugárzás közben alakulna át.

Meyer St., Hess és Paneth, igen erős, gondosan megtisztított aktiniumkészítmény α -sugarainak hatótávolságát 3·38—3·56 centiméternek találták, miből, Geiger és Nuttall szabálya alapján számítva, — amennyiben e sugarak tényleg az aktiniumtól erednek, — az aktinium α -sugárzás közben szenvedett átalakulásának bomlási félideje, 130 év volna. Curiené, régibb aktiniumkészítmény β -aktivitásának vizsgálatánál, azt tapasztalta, hogy az, két év lefolyása alatt észrevehetően ogyott és csökkenéséből, az aktinium bomlási félidejét 30 évnek számította. Ez adat azonban ellentmondásban van az eddigi, elméleti következtetésekkel, amelyek szerint az aktiniumnak élettartama sokkal nagyobb, több ezer éves volna.

Rádióaktinium. Az aktinium közvetlen átalakulási termékeként, a rádióaktiniumot ismerjük. Ez anyagot, 1906-ban, Hahn fedezte föl. Ha régebben előállított aktinium savanyú oldatát ammóniával fokozatosan kicsapjuk, úgy a csapadék első részletében kevés aktinium mellett, főként rádiumaktiniumot találunk. Ha a savanyú oldathoz nátriumthioszulfát oldatát keverjük, úgy állás közben, vagy a megmelegítésre kicsapódó kén a rádióaktinium jó részét magával ragadja. Hahn és Rothenbach szerint, a rádióaktinium jobban kiválik, ha az aktinium savanyú oldatában, előzetesen valamilyen zirkoniumvegyület kismennyiségét oldjuk és csak azután adjuk ehhez a nátriumthioszulfát oldatát. Coy és Leman szerint, ha az aktinium oldatában minimális mennyiségű thoriumot oldunk s ezt hidrogénhiperoxiddal kicsapjuk, úgy a csapadék a rádióaktiniumot magával ragadja.

A rádióaktinium bomlási félidejét Hahn 19·5 és Leman 18·88 napnak találták. A rádióaktinium α -, β - és igen lágy γ -sugarakat lövell ki. E körülményből, t. i., hogy a rádióaktinium α - és β -sugarakat lövell ki, következtetik, hogy ez kétféle átalakulást szenved, de ilyen, második átalakulási terméket eddig nem sikerült találni. A rádióaktinium α -sugaraik hatótávolságát, Geiger és Nuttal, 4·6 centiméternek találták. Ez adat azonban ellentmond Geiger és Nuttal szabályainak, mert az aktinium X α -sugaraik hatótávolsága, amelyet, ugyancsak Geiger és Nuttal 4·4 centiméternek talált, kisebb, mint a rádióaktinium α -sugaraik hatótávolsága, noha annak bomlási félideje (11·6 nap) rövidebb, mint a rádióaktiniumé. Meyer St., Hess és Paneth közösen végzett kísérletei szerint, a rádióaktinium kétféle α -sugarat lövell ki, amelyek egyik csoportjának hatótávolsága 4·6, a másiké 4·2 centiméter volna. Ez utóbbi adat megfelelne Geiger és Nuttal szabályának, de eszerint a rádióaktiniumnak bonyolultabb átalakulást kell szenvednie, s miután β -sugarakat is lövell ki, legalább háromféle bomlási terméket kell adnia. Russel és Chadwick, 1912-ben megjelent közleménye szerint, a rádióaktinium két különböző rádióaktív anyagra bontható szét, amelyek egyikének bomlási félideje 19·5 nap, a másiké 13 óra volna. Ez állítást Hahn és Meitner, akik a leírt kísérleteket megismételték, tagadják.

Az elmondottak alapján, a rádióaktinium bomlási állandóit a következőképpen állíthatjuk össze:

Kilövell α -, β - és lágy γ -sugarakat.

α -sugaraik hatótávolsága (Geiger és Nuttal szerint) 4·6 cm
Meyer St., Hess és Paneth szerint 4·6, 4·2 cm.

β -sugaraik felét elnyeli 0·004 cm vastag alumíniumlemez.

Θ = Hahn O. szerint 28·1 nap, Mc Coy és Leman szerint 27·24 nap

T = Hahn O. szerint 19·5 nap, Mc Coy és Leman szerint 18·88 nap

$\lambda = \text{Hahn O. szerint } 4.1 \times 10^{-7} \text{ sec}^{-1}$, $\text{Mc Coy és Leman szerint } 4.25 \times 10^{-7} \text{ sec}^{-1}$

Aktinium X. Az aktinium X-et, 1904-ben Giesel és tőle függetlenül Godlewsky fedezték föl, mielőtt még a rádióaktiniumot ismerték volna, s csak később mutatták ki, hogy az anyag nem közvetlenül az aktiniumból, hanem a rádiumaktiniumból keletkezik. Ha régi aktinium oldatból az aktiniumot és a rádióaktiniumot ammóniával kicsapjuk s a leszűrt oldatban kevés báriumkloridot oldunk és ehhez kénsavat adunk, úgy az aktinium X, a csapadékkal leválik. E csapadékban, az aktinium X mellett, még kevés aktiniumot is találunk, mert az aktinium, ammóniával nem válik le tökéletesen és a bárium-szulfátszapadék, ennek egyrészt is magával ragadja. Meyer St. és Schweidler, továbbá Hahn állítása szerint, tiszta aktinium X, rádióaktiniumból, tasztási eljárással nyerhető.

Az aktinium X α -sugarakat lövell ki, α -sugarainak hatótávolsága Geiger és Nutt kísérletei szerint 4.4 centiméter, Meyer St., Hess és Paneth, együttesen végzett kísérletei szerint 4.26 centiméter. Bomlási félidejét, többek kísérletének középértékeként, 11.6 napnak vehetjük.

Az aktinium X közvetlen átalakulási terméke az aktinium-emanáció. Bomlási állandói, a föntiek szerint:

α -sugarainak hatótávolsága, (Geiger és Nutt szerint) 4.4 cm.
Meyer St., Hess és Paneth szerint, 4.26 cm.

átlagos életkora	--- --	$\Theta = 16.7 \text{ nap}$
bomlási félideje	--- --	$T = 11.6 \text{ nap}$
„ együtthatója	--- --	$\lambda = 6.9 \times 10^{-7} \text{ sec}^{-1}$

Aktinium-emanáció. Miként a rádium- és thorium-emanáció, az aktinium-emanáció is gázalakú. Az aktinium-emanáció sokkal könnyebben szabadul ki a szilárd aktiniumvegyületekből, mint a rádium-emanáció, a rádiumvegyületekből. Az aktiniumvegyületeknek azt a lehetőségét, hogy belőlük az emanáció könnyen kiszabadul, már Giesel észrevette s ezért nevezte ez anyagot emániumnak. Ha kis, nyitott edénykével szemben, melyben valamilyen aktiniumkészítmény van, sötétben, egy czinkszulfiddal bevont lapot helyezünk, úgy az élénken világítani fog, e világítás azonban már gyenge lehetetre is eltűnik, vagy a czinkszulfidos lapnak, a légmozgás irányában fekvő, távolabbi pontján tűnik föl, jelölül annak, hogy a világítás az emanáció kilövellte α -sugaraktól ered.

Az aktinium-emanáció, miként a rádium- és thorium-emanáció is, α -sugarakat lövell ki; α -sugarainak hatótávolságát, Geiger és Nutt 5.7 centiméternek, Meyer St., Hess és Paneth 5.57 centiméternek találták. Bomlási félidejét Leslie és Perkins, 3.92 másodpercnek adja meg.

Noha az aktinium-emanációt, anyaelemétől könnyen el lehet választani, nagyon is rövid életkora miatt, alig lehet vele érdemleges kísérletet végezni.

Goldstein, Henriot és Kinoshita kísérletei szerint, az aktinium-emanáció is 100^0 — 150^0 hőmérsékleten kondenzálható.

Rádióaktív állandói:

α -sugarai hatótávolsága, Geiger és Nuttal szerint, 5.7 cm.

Meyer St., Hess és Paneth szerint, 5.57 cm.

átlagos életkora --- $\Theta = 5.66$ másodperc

bomlási félideje --- $T = 3.92$ másodperc

„ együtthatója --- $\lambda = 1.77 \times 10^{-1} \text{ sec}^{-1}$

Aktinium A. Az aktinium-emanáció, hasonlóan a thorium-emanációhoz, czinkszulfidon kettős villanásokat okoz. E jelenséget a jelen esetben is, az aktinium-emanációból keletkező, rendkívül rövidéletű anyag, az aktinium A idézi elő, melynek létezését Fajans és Mosley, a thorium A-nál leírt módon bizonyították be és bomlási sebességét is, ugyanolyan módon határozták meg. Az aktinium A átlagos életkora, még a thorium A-nál is rövidebb. Ez anyag α -sugarakat lövell ki. Rádióaktív állandói:

α -sugarainak hatótávolsága, Geiger és Nuttal szerint, 6.5 cm., Meyer St., Hess és Paneth szerint 6.27 cm.

átlagos életkora --- $\Theta = 0.003$ másodperc

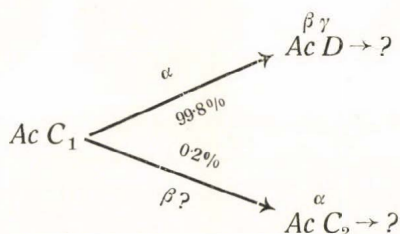
bomlási félideje --- $T = 0.002$ másodperc

„ együtthatója --- $\lambda = 3.5 \times 10^2 \text{ sec}^{-1}$

Aktinium B. Az aktinium rádióaktív lerakódása nagy hasonlatosságot mutat, a thorium rádióaktív lerakódásához. A thorium-emanáció legelső bomlási termékéhez hasonlóan, az aktinium A is rendkívül rövidéletű. Az aktinium-emanáció hatásának kitett szilárd testek is, ha rövid ideig voltak az emanáció hatásának kitéve, kezdetben csak igen gyenge α -sugárzást mutatnak, ez eleinte nő, maximumot ér el, s azután csökkenni fog. Ugyanis az aktinium B, csak igen lágy β - és γ -sugarakat lövell ki, ezt épp úgy, mint a thorium B-t, ezért kezdetben sugárzás nélkül átalakuló anyagnak tartották. Az aktinium rádióaktív lerakódása egyes tagjainak életkora általában rövidebb, mint a thorium-lerakódások megfelelő tagjaié. Az aktinium B, bomlási sebességét többen vizsgálták s a bomlási félide, e vizsgálatok középértékeiből 36 perc. Az aktinium B, Meyer St. és Schweidler szerint, alacsonyabb hőfokon illan el, mint az aktinium C, Meitner szerint, az utóbbitól elektrolitikus úton elválasztható. Ez anyag rádióaktív viselkedését a következőkben foglalhatjuk össze. Az aktinium B igen lágy β - és γ -sugarakat lövell ki. Átalakulási sebességének állandói:

átlagos életkora	...	$\Theta = 52.0$ perc
bomlási félideje	...	$T = 36.0$ perc
„ együtthatója	...	$\lambda = 3.2 \times 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$

Aktinium C. Az aktinium C α -sugarakat lövell ki, melyek hatótávolságát Geiger és Nutt 5.4, Meyer St., Hess és Paneth 5.15 centiméternek találták. Bomlási félideje Bronson, Hahn és Meitner vizsgálatai szerint 2.15 perc. Mivel a thorium és rádium C kettős átalakulást szenved, már régebben is azt következtették, hogy az aktinium C is kétféleképpen alakul át. Mosley és Fajans kísérletei e föltevés ellen szólnak, Marsden, Wilson R. H. és Perkins, valamint újabban Varder azt állítják, hogy a rádium C α -sugarai egy kicsiny tört részének, az összes sugarak mintegy 0.15–0.20 százalékának hatótávolsága 6.4 cm. Ilyen hatótávolságnak, körülbelül 0.005 másodperces bomlási félidő felelne meg, s így ezeket a sugarakat egy rövidéletű rádióaktív anyag lövellné ki, melyet aktinium C₂-vel jelölhetünk. Ezek szerint, inkább a thorium C és rádium C viselkedéséből következtetve, az aktinium C átalakulási módját a következőképpen vázolják:



Ezek szerint az aktinium C₁, α - és esetleg β -sugarakat lövell ki. α -sugarai hatótávolsága, Geiger és Nutt szerint, 5.4 cm. α -sugarai hatótávolsága, Meyer St., Hess és Paneth szerint, 5.15 cm.

átlagos életkora	...	$\Theta = 3.12$ perc
bomlási félideje	...	$T = 2.15$ perc
„ együtthatója	...	$\lambda = 5.33 \times 10^{-3} \text{ sec}^{-1}$

Az aktinium C₂ α -sugarakat lövell ki.
 α -sugarai hatótávolsága 6.4 cm.

átlagos életkora	...	$\Theta = 0.007$ másodperc?
bomlási félideje	...	$T = 0.005$ másodperc?
„ együtthatója	...	$\lambda = 140?$

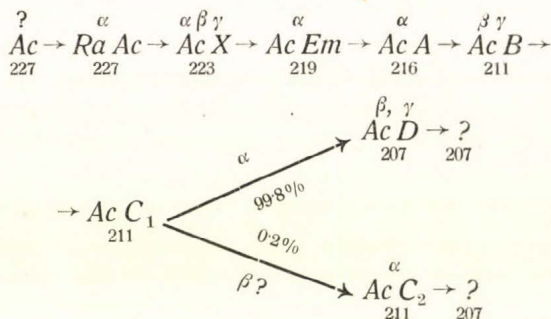
Aktinium D. A fenti vázlat szerint az aktinium C₁, α -sugárzás közben, főtömegében aktinium D-vé alakul át. Ez anyagot először Hahn és Meitner, aktinium C-től, taszítási eljárással választották el. Az

aktinium D β - és meglehetősen lágy γ -sugarakat lövell ki. Bómlási félidejét Slovárik 4·71 percznek találta.

β -sugarai felét 0·024 cm vastag alumíniumlemez elnyeli.

átlagos életkora	...	$\Theta = 6\cdot8$ percz
bómlási félideje	...	$T = 4\cdot71$ percz
„ együtthatója	...	$\lambda = 2\cdot45 \times 10^{-3} \text{ sec}^{-1}$

Az aktinium átalakulási módját az elmondottak alapján, a következőképpen vázolhatjuk.



E vázlatban, az aktinium atómsúlyaként, a Fajans föltételezte számot vettük föl.

Az aktinium átalakulásának végterméke. A fönti vázlat szerint, az aktinium végtermékének atómsúlya 207 körüli volna. Ez megegyezik az ólom atómsúlyával s így Fajans, mint erre még e könyv utolsó fejezetében visszatérünk, az aktinium végtermékének is az ólmot tartja.

Az aktinium mennyiségi meghatározása. Az aktinium mennyiségének meghatározására, Hevesy György vizsgálatai szerint, az emanációs módszert is használhatjuk. Mivel az aktinium-emanáció rendkívül rövidéletű, a meghatározás is, mint a thorium mennyiségének meghatározása, csakis áramló levegővel történhetik, de mivel az aktinium-emanáció, még a thorium-emanációnál is sokkal rövidebb életű, a megvizsgálandó anyagot lehetőleg kevés folyadékban kell oldanunk, az oldatot kicsiny edényben, olymódon kell elhelyeznünk, hogy fölötte csak kicsiny gáztér maradjon, a mérésre kis ionizáló kamrát kell használnunk és az oldatot tartalmazó edényt, lehetőleg közvetlenül kell az ionizációs kamrával összekötnünk, mert, ha az emanációt magával ragadó levegőáramnak, az ionizációs kamrába jutása előtt, hosszabb utat kell megtennie, úgy az aktinium-emanáció legnagyobb része már az úton elbomlik, mielőtt az ionizációs kamrába juthatna. Összehasonlításképpen ismert urániumtartalmú urániumszuokércz oldatát használhatjuk. E módszer természetesen nem az aktinium abszolút mennyiségét adja meg, csak a viszonyos mennyisége felől tájékoztat.

A bécsi Arbeitsministerium főnnhatósága alatt álló, „k. k. Montan-Verkaufsamt für radioaktive Präparate von St. Joachimsthal in Böhmen“ aktiniumkészítményeket hoz forgalomba, melyek értékét olymódon szabja meg, hogy elektrosztatikus egységekben kifejezve, megadja a telítési áram nagyságát, melyet a vastagabb rétegben kiterített aktiniumkészítmény egy négyzetcentiméternyi felületéről kiinduló sugarak idéznek elő.

A kálium és rubidium sugárzó tehetsége.

Nemsokára, hogy Becquerel az uránium sugárzó tehetségét felfedezte, Curiené kimutatta, hogy az addig ismert elemek között csak a thorium viselkedik e tekintetben az urániumhoz hasonlóan. Amint a vizsgálati módszereink mindinkább tökéletesedtek, s amint e kérdésekkel mind többen kezdtek foglalkozni, igen sok anyagról állították, hogy azok sugárzó tehetséggel bírnak. Ez állítások azonban, jórészt téveseknek bizonyultak, nagyon sok esetben kimutatták, hogy a sugárzás valamely kismennyiségben hozzákevert rádióaktív anyagtól ered. Így például, a közönséges ólom nagyon gyakran sugárzó, de a sugárzás a benne található rádium *D*-től, illetve az abból keletkezett poloniumtól ered. Más esetekben meg kimutatták, hogy az észlelt vezetőképesség nem rádióaktív sugaraktól ered, hanem azt kémiai folyamatok okozzák. Így például a foszfor gőzei a levegőt elektromosan vezetővé teszik, de a vezetőképességet nem valamilyen a foszforból keletkező rádióaktív sugarak okozzák, hanem a levegő, a foszfor oxidálódása közben ionizálódik. Más esetekben kimutatták, hogy egyes anyagokból fény, hő vagy más hatásokra, elektronok szabadulnak föl, e jelenségek tehát nem tekinthetők azonosoknak, az önként befolyó rádióaktív jelenségekkel. Az előző fejezetekben felsoroltakon kívül, még csak két olyan elemi anyagot ismerünk, amelyekről az eddigi vizsgálatok szerint feltételezhetjük, hogy külső hatásoktól menten, magából az atómból eredő rádióaktív sugarakat lövellnek ki. Ez a két anyag: a kálium és rubidium.

Már 1905-ben kimutatta Thomson J. J., hogy a kálium és rubidium igen gyenge sugárzó tehetséget mutatnak. Utána főként Campbell és Wood, de kívülük mások is, igen sokan foglalkoztak e kérdésekkel. Megvizsgálták a legkülömbözőbb káliumvegyületeket, így a carnallitet, orthoklast, muskovitot, lepidolitot, leucitet stb., ezenkívül a növényi és állati hamut és a különböző mesterségesen előállított káliumsókat és azt találták, hogy azok mind sugárzanak, sugárzóképességük arányos a bennük lévő kálium mennyiségével s e tehetségüket nem veszítik el és az nem kisebbedik, ha e vegyületeket, a legkülömbözőbb tisztítási eljárásnak vetik alá. Eszerint a sugárzás nem valamely hozzákeveredett, idegen

anyagtól ered, azt a kálium atómi tulajdonságának kell tartanunk. Ugyanilyen eredménnyel végződtek a rubidiumvegyületekkel végzett kísérletek is.

Henriot E. és Vavon G. a kálium-, Bergwitz K. a rubidiumvegyületek kilövellte sugaraknak mágneses térben való viselkedését vizsgálták és ezeket negatív elektromos töltésűeknek, tehát β -sugaraknak találták. Henriot E. e vizsgálatai szerint, a káliumsugarak keménysége, körülbelül az uránium X_2 kilövellte β -sugarakéhoz hasonló, a rubidium sugarai még ennél is lágyabbak, e sugarak tehát igen kis sebességűek. Ugyane szerző összehasonlította a kálium, illetve rubidium sugárzása okozta telítési áramot, az uránium sugarai által előidézett árammal s azt találta, hogy ez utóbbi, kerek számban ezerszer akkora, mint az előbbi.

Soddy, mivel sem a kálium-, vagy rubidiumvegyületekben, belőlük keletkezett, újabb rádióaktív anyagot kimutatni eddig nem sikerült, de főként azért, mivel ez anyagoknak atómsúlya meglehetősen kicsiny, s az eddigi fejezetekben ismertetett rádióaktív anyagoknak talált, vagy föltételezett atómsúlya 206-nál nagyobb, azt következteti, hogy a kálium és rubidium sugárzó tehetsége nem volna azokéhoz hasonló jelenség, vagyis hogy ez anyagok nem volnának a szó szoros értelemben rádióaktívek, s e sugárzás nem atómbomlásnak volna a következménye. E felfogással szemben azonban, sokkal valóbbbszerűnek látszik, hogy e sugarak keletkezésének oka ugyanaz, mint az előbbi fejezetekben ismertetett rádióaktív anyagok sugárzásáé, sőt nem lehetetlen, hogy a sugárzótehetség, mint erre a következő fejezetekben még visszatérünk, általános tulajdonsága az elemeknek, de ezt eddig csak azért nem tudtuk az elemek nagy többségénél kimutatni, mert ehhez eszközeink még nem elég érzékenyek.

A rádióaktivitás és az atómelmélet.

Az elektrón-elmélet. Az a föltevés, hogy az atómok még kisebb részekből összetettek, már régebbi keletű. Még a múlt század közepén Prout kísérelte meg először, hogy az atómoknak kisebb részekből való összetettségét föltételező elméletet, kísérletileg bizonyítsa. Prout tulajdonképpen, a Demokritos-féle ősatóm-elméletet élesztette fel, amely szerint, az egyetlenegy ősatómét kivéve, minden anyag összetett. Prout föltevése szerint, a hidrogénatóm lenne az ősatóm s a többi elem mind, hidrogénatómokból volna összetéve. Szerinte azon adatok, melyek szerint az egyes elemeknek, a hidrogén atómsúlyára vonatkoztatott atómsúlya tört számot mutat, tévesek volnának. Prout föltevésének azonban, az azóta végzett számtalan atómsúlymeghatározás mind ellentmond.

A rádióaktív jelenségek fölfedezése után, Kelvin lord, újabb elméletet ismertetett, amely szerint az atómok elektrónokból volnának összetéve. E föltevés szerint, az atóm tisztán pozitív és negatív elektromosságból állana. A pozitív elektromosság az atóm térfogatának megfelelő gömbön belül, egyenletesen volna elosztva és ebben, a pozitív elektromossággal egyenértékű számban, úgy hogy az atóm külső hatásában elektromosan közömbös legyen, önálló pontok alakjában, negatív töltésű elektrónok volnának elosztatva. Ez elektrónok állandó mozgásban volnának, de mozgásuk, csak az eredeti helyzetüknek megfelelő sugarú kör, illetve gömb felületén, egy irányban és egyenletes szögsebességgel történhetik, úgy hogy azok egymással nem ütköznek. Kelvin lord elméletét Thomson J. J. fejlesztette tovább. Szerinte a körpályán mozgó elektrón, keringése közben energiát sugároz ki, tehát sebességét veszti, de minél több elektrón mozog egy-egy gömbfelületen, annál kisebb lesz e veszteség. Sok elektrónból álló atómban lévő elektrónok sebessége, lassan bár, de állandóan csökken, és e sebességcsökkenés idővel akkora lesz, hogy az atóm stabilitását veszíti, az elektrónok egy része lehasad s a megmaradtak újból rendeződnek, amikor az atóm stabilitása egyidőre, újból helyreáll. Ez volna a rádióaktív jelenségek magyarázata. Thomson számítása szerint, a legkülső gömbfelületen, tehát az atóm

széléhez közel eső részen mozgó elektrónokból egynéhány leválhat, vagy azokhoz kívülről jövő elektrónok csatlakozhatnak anélkül, hogy az atom stabilitása megváltoznék. Ha az ilyen atómról elektron válik le, úgy az atom pozitív, ellenkező esetben, ha az atomhoz kívülről új elektrón csatlakozik, negatív töltésű lesz, vagyis ahány elektrón válik le arról, vagy csatlakozik ahhoz, annyi pozitív, illetve negatív vegyértékűvé válik az atom.

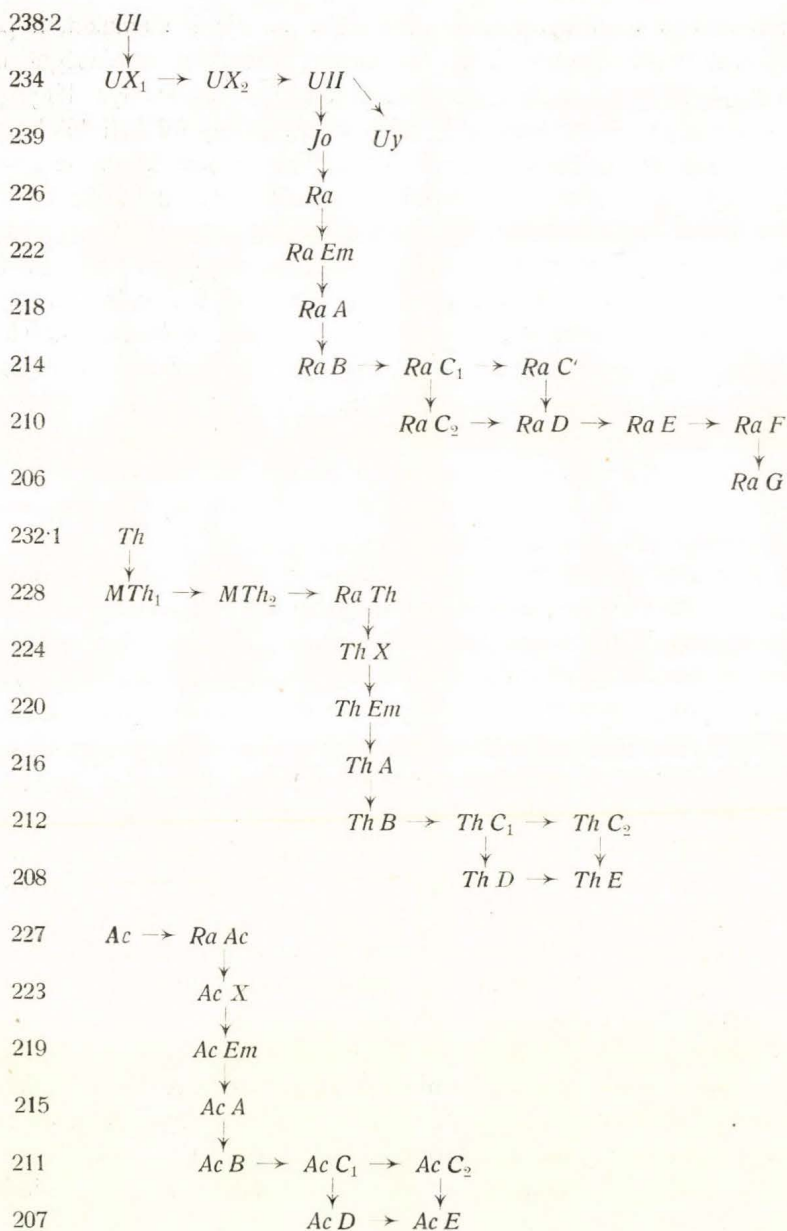
Miután az elektron tömege, a hidrogénatom tömegének csak mintegy $\frac{1}{1800}$ része, ha az atom tömege csak az elektrónok tömegéből adódna ki, úgy a nagyobb súlyú atomok, az elektrónok óriási számából állának; de Thomson számításai szerint, az egyes atomokat alkotó elektrónok száma nem lehet nagyobb, mint az atómsúly háromszorosa, ezért, valamint tekintetbe véve azt, hogy az α -részecskék pozitív töltésű héliumatomokból állanak, Thomson és Kelvin lord, az atom anyagi részét, főként a pozitív elektromossághoz kötötten képzelik s ez, mint említettük, az atom térfogatát adó gömbön belül, egyenletesen volna eloszlátva.

E fölfogással szemben először Nagykáka, később Rutherford, az atom összetételét magyarázó föltevést, illetve, miután e kérdést főként ez alapon lehet fejtegetni, a matematikai számítást egészen más alapra fektették. E föltevés szerint, az atom anyagi része és az ahhoz kötött pozitív elektromos töltés nem töltene ki az atom egész térfogatát, az az atom központjában tömörülne és annak magját alkotná, amely körül, mint a bolygók a nap körül, keringenének az elektrónok. Rutherford első föltevése szerint, az atom magja tisztán héliumatomokból állana, melyek mindegyikének, mint az α -részecskének, két pozitív ióntöltése volna. Miután az atom tömege főként a pozitív maghoz van kötve s a hélium atómsúlya közelítőleg 4, az egyes atomok magját alkotó héliumatomok száma, az azt alkotó atom súlyának egy negyede s mivel egy α -részecskének töltése két ióntöltéssel egyenlő, a mag összes töltése s így az azáltal megkötött elektronok száma is, fele akkora volna, mint az atom súlya. Így például az uránium atómsúlya kerekszámban 238, tehát az uránium atommagját 59 hélium atom alkotná, a magtöltése 118 pozitív ióntöltéssel volna egyenlő s e mag körül 118 elektrón keringene. E föltevessel azonban nem magyarázhatjuk a hidrogénatom szerkezetét és nem magyarázhatjuk meg sok más atómet sem, mert eszerint az elemek atómsúlyának körülbelül a héliumatom súlyával, tehát négy egységgel kellene növekednie, ami a tényeknek ellentmond. Ezért Rutherford e föltevését oly módon változtatta, hogy egyrészt az atom magját hidrogén- és héliumatomokból állónak teszi föl és a nagyobb atómsúlyú elemek magjában a héliumatomok volnának nagyobb számban; másrészt az alább ismertetendő elmélettel megegyeztetve, az atom magtöltésről szóló föltevését is úgy változtatta meg, hogy a magtöltés



egyenlő, az azt alkotó elemnek, a periodikus rendszerben elfoglalt helyének sorszámával (lásd a 180. oldalon közölt táblázatot). Ez elmélet fölött élénk vita folyik. Leginkább fizikusok és matematikusok foglalkoznak e kérdéssel, s tekintettel a szinkép vizsgálatánál észlelt jelenségekre és az elemek egyéb fizikai viselkedésére, leginkább az elektrónok elrendeződésének módját tárgyalják; törekvésük főként odairányul, hogy ez elméletet a különböző matematikai alapelvekkel összhangzásba hozzák. Részleteikben az egyes fölfogások még különböznek egymástól, de túllépnénk célunkat, ha e részletkérdéseket megismertetni akarnók, azért itt csak az úgynevezett Rutherford-Bohr-féle atómmodel lényegét írjuk le. A Rutherford-Bohr-féle elmélet szerint, az atóm magja főként hidrogén- és héliumatómokból állana. A nagyobb súlyú atómok magjában a héliumatómok volnának túlsúlyban. A magot alkotó hidrogénatómoknak egy, a héliumatómoknak két pozitív ióntöltésük volna, de a tulajdonképpeni magtöltést nem a hidrogén- és a héliumatómok töltésének összege adná meg, hanem a magban, a pozitív töltésű anyagi részecskéken kívül, elektrónok is volnának s így a tulajdonképpeni magtöltést, az anyagi részecskékhez kötött pozitív és az elektrónok negatív töltése közti különbség adná meg. A magtöltés nagyságát, az elemnek a periodikus rendszerben elfoglalt helye szabná meg. Így például a hidrogénatóm megtöltése 1, a héliumatómé 2, a lítiumé 3, a berilliumé 4, a bóré 5, a széné 6, az urániumé 92 stb. volna (lásd a 180. oldalon közölt táblázatot.) Az atómot alkotó elektrónok nagyobb része az atómmag körül keringene. Az atómmag körül keringő elektrónok száma egyenlő a magtöltéssel s ezek a nagyobb atómsúlyú elemeknél rajonként, különböző sugarú gömbfelületeken keringenek. A szélső gömbfelületen mozgó elektrónok, ez elmélet szerint, éppen úgy, mint a Kelvin és Thomson elmélete szerint, csak lazán kapcsolódnának az atómmaghoz. Ezek volnának a vegyértékelektrónok. A közbüleső gömbfelületen keringő elektrónok, az atómtól nem választhatók el, ezek elrendeződése csak akkor változhatna meg, ha az atóm egyensúlyi helyzetében változás állana be, vagyis amikor az rádióaktív átalakulást szenved. E közbüleső elektrónok mozgása, illetve az abban előálló zavarok volnának okozói a fény, a mágneses és egyéb fizikai jelenségeknek. Az α - és β -részecskék a magból erednének, ennél fogva az atóm rádióaktív viselkedését a mag viselkedése szabná meg.

Plejad-elmélet. A dezintegrációs elmélet szerint, a rádióaktív anyagok, pozitív vagy negatív elektromos töltésű részecskék kilövellése közben, átalakulást szenvednek s belőlük új elemek keletkeznek. Az urániumról, a rádiumról, a thoriumról és az aktiniumról szóló fejezetek végén, ez anyagok átalakulási módját feltüntető vázlatot közöltünk. E vázlatok szerint, az új rádióaktív anyag atómsúlya, közelítőleg



E vázlatban, egy α -részecske kilövellése közben keletkező, tehát négygyel kisebb atómsúlyú rádióaktív anyagok az anyaelemük alá; azok, amelyek β -sugárzás közben keletkeznek, tehát atómsúlyuk közelítőleg ugyanolyan mint az anyaelemüké, azokkal egy sorban, melléjük vannak állítva. Az uránium, illetve a rádium, továbbá a thorium- és az aktíniumsorozat végtermékeit (ólom) Hönigschmid, RaG , ThE illetve AcE jelekkel jelzi.

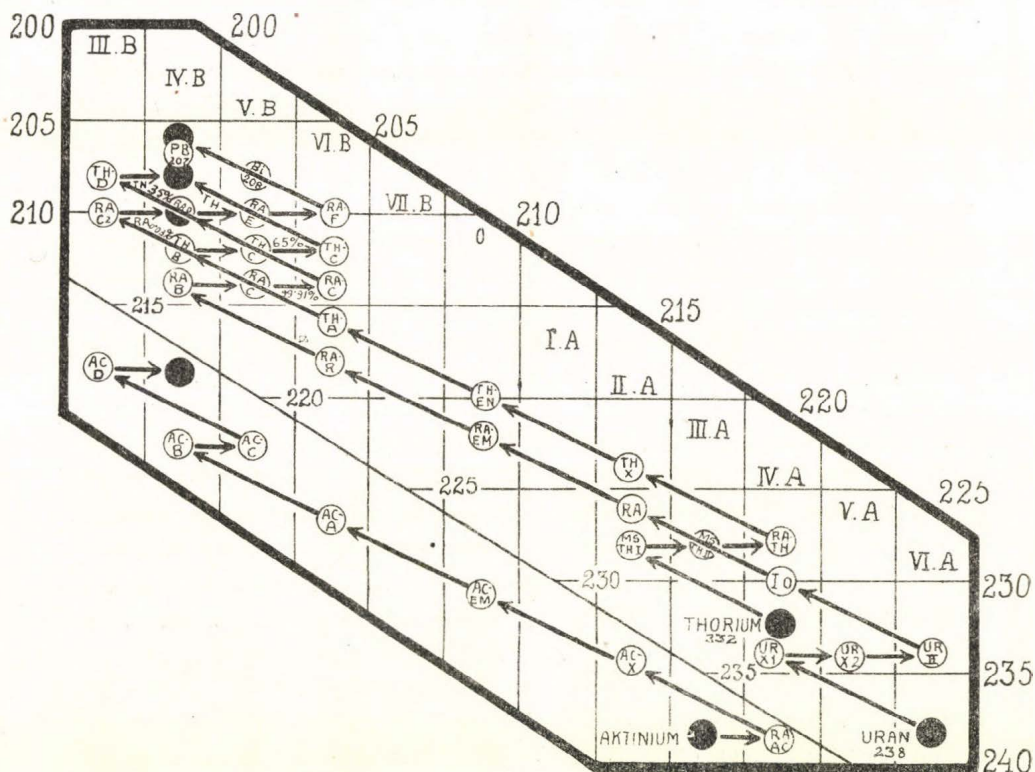
Az aktínium atómszámaul e vázlatban is a Fajans adatát (227) irtuk.

kiszámítható s ez alapon megkísérélhetjük ez újabb elemeket, a periodikus rendszerbe besorozni. E törekvéssel szemben nehézséget okoz, hogy a β -sugárzás közben keletkezett anyagok atómsúlya lényegesen nem különbözhetik az anyaelem atómsúlyától s így föl kell tételeznünk, hogy az eddigi tudásunktól eltérőleg, több olyan elem lehetséges, amelyeknek atómsúlya közelítőleg egyenlő. E nehézséget újabb elmélet akarja kiküszöbölni. Hogy ezt jobban megértsük s az egyes rádióaktív anyagok föltételezett átalakulási módját jobban áttekinthessük, úgy az uránium, mint a thorium és az aktinium átalakulási módjának vázlatát, némileg átalakított alakban, újból közöljük. A 169. oldalon közölt vázlatokat, Hönigschmid O.-nak, a Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft, 1916. évfolyamában (1835. oldal), „Über Radioelemente“ című közleményéből vettük át.

A vázlatokban felsorolt rádióaktív elemek atómsúlya 206 és 238, tehát az ólom és az uránium, illetve thorium atómsúlya között váltakozik. E föltételezett elemek eszerint, a periodusos rendszernek, az ólom és az uránium, illetve thorium közé eső, még üresen levő helyeire kerülnek. A 171. oldalon közölt táblázat mutatja, hogy ezek, a periodusos rendszer megfelelő helyein miként helyeződnének el. A táblázatot Soddy, német nyelven „Die Chemie der Radio-Elemente“ címen megjelent könyvéből vettük át s az, a periodusos rendszer megfelelő részét olymódon tünteti föl, hogy a koordináta-rendszer függőleges tengelye irányában az atómsúlyok növekedése, a vízszintes tengely irányában, a rendszer függőleges oszlopainak szokásos számozása van följegyezve. Hogy a kép áttekinthetőbb legyen, a rendes szokástól eltérőleg, a 0, vagyis a vegyérték nélküli elemek oszlopa a táblázat közepére s ennek megfelelőleg, az I-es számmal jelölt oszlop attól jobbra és a VII-es számmal jelölt oszlop attól balra esik. Az aktinium atómsúlyát Soddy ismeretlennek veszi, s ennek megfelelőleg az aktinium átalakulásának módját külön kiemelve a táblázat alsó végében tünteti föl.

A táblázat összeállításának alapgondolata, hogy úgy az α -, mint a β -részecskék az atómmagból indulnak ki. Egy α -részecske kilövellésekor a keletkezett atóm súlya négygyel kisebb, mint az anyaelemé, de mivel az α -részecske két pozitív iónöltést visz magával, a keletkezett új elem magtöltése is, kettővel kisebb lesz, tehát az a periodusos rendszerben két helylyel hátrább, jobbra kerül. Ezzel szemben, a β -részecske kilövellése közben keletkezett elem atómsúlya nem változik meg lényegesen, de a β -részecske egy negatív iónöltést visz magával, tehát a magtöltés (a mag pozitív és negatív töltésének különbözete) egygyel növekedni fog s így az új elem egy helylyel a rendszerben előbbre, balra kerül. (Eltolódási szabály, Verschiebungsregel.) Így pl. az uránium I. atómsúlya kerekszámban 238. Ebből egy α -részecske

elválása közben, az uránium X_1 keletkezik. Az uránium X_1 atómsúlya tehát 234 és a magtöltése kettővel kisebb lesz, mint az urániumé. Ha tehát az uránium helye a periodusos rendszer VI. oszlopában volt, az uránium X_1 -é a IV. oszlopban lesz, s ha az uránium (pozitív) magtöltése 92, úgy az uránium X_1 magtöltése 90 lesz. Az uránium X_1 -ből egy β -részecske kilövellése közben keletkezett uránium X_2 atómsúlya tehát szintén 234, de a (pozitív) magtöltése egygyel nagyobb lesz, mint



az uránium X_1 -é, vagyis 91 s ennél fogva ez a rendszer V. függőleges oszlopába jut. Ebből ugyancsak egy β -részecske kilövellése közben keletkezik az uránium II. Ennek atómsúlya tehát 234, magtöltése pedig 92, vagyis ugyanannyi lesz, mint az uránium I-é. Eszerint ez az anyag, noha atómsúlya négygyel kisebb mint az uránium I-é, a periodusos rendszernek ugyanazon helyére kerül, mint az uránium I.

E föltevés szerint egyenlő atómsúlyú elemek, a periodusos rendszer különböző helyére eshetnek, és különböző atómsúlyú elemek, a rendszer egy és ugyanazon helyére kerülhetnek.

A 173. oldalon közölt táblázatot Fajans-nak „Das periodische System der Elemente“ című közleményéből (Physikalische Zeitschrift, 1915, 456. lap) vettük át. E táblázat a periodusos rendszernek ugyanazon darabját adja meg és lényegileg másolata a fenti táblázatnak, csak más alakba van öltöztetve, ezenkívül amattól abban különbözik, hogy Fajans, az aktinium atómsúlyát 227-nek véve, az aktinium átalakulási termékeit is e rendszerbe sorozza, ezenkívül, a rádióaktív atom jegye mellett, föltünteteti annak bomlási félidejét és azt, hogy az α - vagy β -részecske kilövellése közben alakul át. E táblázatban az (számítás szerint) egyenlő magtöltésű rádióaktív atomok jegyei egy csoportba kerülnek. Fajans az ilyen egyenlő magtöltésű elemek csoportját, az ikercsillagok csoportjának elnevezése után, plejadnak s Soddy, az egy-egy plejadba tartozó elemek egyes tagjait, izotopoknak vagy izotop elemeknek nevezi. A plejad-elmélet szerint, egy-egy plejadba tartozó izotop elemek kémiai viselkedése, egymással teljesen egyenlő, azokat egymástól kémiai módszerekkel elválasztani nem lehet, azok keveréke, a kémszerekkel szemben úgy viselkedik, mint egy, egységes kémiai elem s az izotop elemeket, csakis rádióaktív viselkedésük alapján lehet egymástól megkülönböztetni. Így például a rádióaktinium, a rádióthorium, az ionium, a thorium, és uránium X, izotop elemek. Ezek egy plejadot képeznek. Ezek egyes tagjait, pl. az uránium X_1 -et az urániumból, vagy a rádióaktiniumot az aktiniumból, külön-külön is előállíthatjuk, de ha ezek, vagyis az uránium X és a rádióaktinium, valahogy összekeverednek, akkor azokat egymástól elválasztani nem lehet.

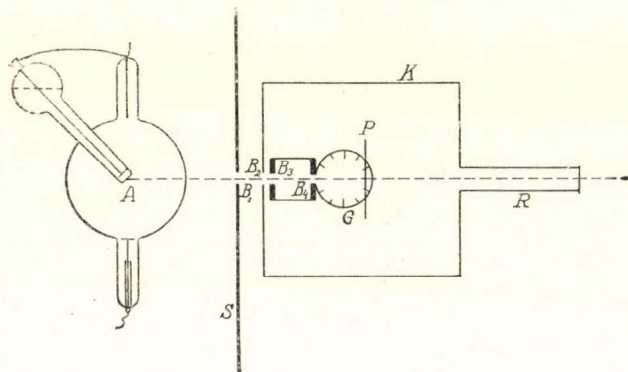
Ez elmélet több tekintetben ellentmond eddigi fölfogásainknak. Ugyanis eszerint egy-egy plejad tagjai kémiaiilag egy elemnek tekintendők, és egy-egy, kémiaiilag homogénnek látszó elem, a különböző atómsúlyú izotop elemek keveréke lehet. E fölfogás szerint, az atómsúly nem jellemző állandója az elemeknek, mert különböző atómsúlyú izotop elemek, kémiaiilag egy elemként viselkedhetnek, és ezzel szemben, két vagy több kémiaiilag különbözően viselkedő elemnek egy és ugyanazon atómsúlya lehet. E fölfogás szerint, az egyenlő magtöltésű elemek, kémiaiilag egy elemnek tekintendők akkor is, ha atómsúlyuk különböző, a különböző magtöltésűek pedig különbözők lesznek, még ha atómsúlyuk egyező is. Így például a rádium F és rádium A , kémiaiilag egy elemnek tekintendők, noha atómsúlyuk 8 egységgel különbözik egymással, mert magtöltésük egyenlő, míg a thorium C_1 és thorium C_2 , kémiaiilag két különböző elemként viselkedne, mert atómtöltésük egymástól különbözik. Azon körülményt, hogy a periodusos rendszerben, az elemek kémiai viselkedése az atómsúly függvényeként tűnik föl és, hogy a közönséges kémiai elemek között nem találunk olyanokat, amelyek, egyező atómsúly mellett, különböző kémiai viselkedést mutatnak: továbbá, hogy a közönséges elemek között nem találunk különböző tulajdonságú, de egyenlő atómsúlyú elemeket;

Atómsúly	O	VIII	I	II	III	IV	V	VI	VII	Atómsúly
			<i>a</i> <i>b</i>	<i>a</i> <i>b</i>	<i>a</i> <i>b</i>	<i>a</i> <i>b</i>	<i>a</i> <i>b</i>	<i>a</i> <i>b</i>	<i>a</i> <i>b</i>	
197			<i>Au</i>							197
200				<i>Hg</i>						200
204					<i>Tl</i>					204
206						<i>Ra G</i>				206
207						<i>Ac E, Pb</i>	<i>Bi</i>			207
208					β <i>Ac D</i> 4·7 p.	β <i>Ra D</i> 16 év	β <i>Ra E</i> 5 n.	α <i>Ra F</i> 136 n.		208
210					β <i>Th D</i> 3·1 p.	β <i>Ac B</i> 36 p.	$\alpha\beta$ <i>Ac C</i> ₁ 2·15 p.	α <i>Ac C</i> ₂ (0·005 s.)		210
(211)					β <i>Ra C</i> ₂ 1·4 p.	β <i>Th B</i> 10·6 ó.	$\alpha\beta$ <i>Th C</i> ₁ 60 p.	α <i>Th C</i> ₂ (10 ⁻¹¹ s.)		(211)
212						β <i>Ra B</i> 27 p.	$\alpha\beta$ <i>Ra C</i> ₁ 19·5 p.	α <i>Ra C'</i> (10 ⁻⁶ s.)		212
214								α <i>Ac A</i> 0·002 s.		214
215								α <i>Th A</i> 0·14 s.		(215)
216								α <i>Ra A</i> 3 p.		216
218										218
(219)										(219)
220	α <i>Ac Em</i> 3·9 s.									220
220	α <i>Th Em</i> 54 s.									220
222	α <i>Ra Em</i> 3·85 n.									222
(223)										(223)
224										224
226										226
(227)										(227)
228										228
230										230
232										232
234										234
238										238

s. = másodperc, p. = perc, ó. = óra, n. = nap, a zárójelbe helyezett adatok kérdések.

Fajans és a plejad-elmélet hívei azzal magyarázzák, hogy a rádióaktív elemek legtöbbször igen gyorsan bomlik el, ezek tehát oly kis mennyiségben találhatók, hogy azokat, kémiai módszerekkel, sohasem tudtuk volna fölismerni. Kémiai módszerekkel kimutatható mennyisége csak a hosszabb életű elemeknek lehet. Egy-egy plejadban, rendszerint csak egy hosszabb életű elemet találunk (a táblázatban az egyes plejadok leghosszabb életű tagja kövér betűvel van szedve) s ezek atómsúlya, a rádióaktív elemek között is, a közönséges elemekéhez hasonló módon változik.

Az előző fejezetekben több oly tapasztalati adatot találunk, amelyek e fölfogás mellett szólnak. Ezekre, e fejezet utolsó szakaszában még visszatérünk. Hevesy György, részben Paneth, Putnoki és Róna Erzsébet társaságában, diffúziós kísérleteket végzett, amelyekből, az egyes

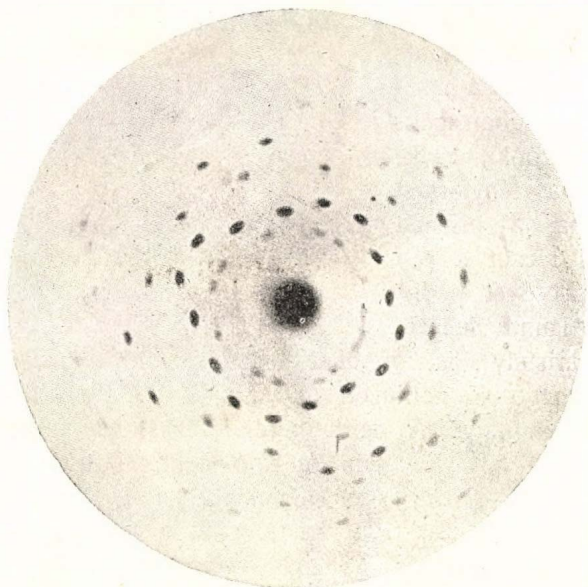


46. rajz.

radióelemek vegyértékét kiszámította. Ez adatok egyeznek a plejad-elméletből vont következtetéssel. A plejad-elmélet egyik erős bizonyítékát még, az újabb időben megismert, Röntgen-spektrumokban látják.

Röntgen-spektrum. Már régebbi elmélet magyarázza a kristályok szerkezetét oly módon, hogy a kristályokban a molekulák, illetve az azokat alkotó atómok, a kristály szerkezetének megfelelő rendszerben helyezkednek el. A Stokes-Wiechert-féle elmélet szerint, a Röntgen-sugarakat rövidhullámú, mágneses éterimpulziók alkotják, amelyeket a szilárd testekbe ütdő, hirtelen megállásra kényszerített katódsugarak váltanak ki. Laue M. e két elméletet egybevetve, ezekből azt következtette, hogy a kristályoknak, a Röntgen-sugárral szemben, az optikai rácsokhoz hasonlóan kell viselkedniök és hogy a kristályokon, megfelelő körülmények között áthaladó Röntgen-sugarakon, interferenciás jelenségeket kell észlelnünk. E föltevést 1912-ben, Laue irányításával, Friedrich W. és Knipping P. kísérletileg is igazolták. A kísérleti

berendezést, melyet Friedrich és Knipping eczélra használtak, a 46. vázlatos rajz mutatja. A rajzon *A*, a Röntgen-lámpát jelképezi. B_1 , B_2 , B_3 , B_4 , ólomdiafragmák, amelyek az összes sugarak közül, csak, mintegy $\frac{3}{4}$ milliméter átmérőjű sugárkévének bocsátanak a kísérleti kristályra. (*G*) goniométeren helyezték el a (*Kr*) kristályt és *P*, a kristályon áthaladt sugár megvizsgálására használt fényérzékeny lemez elhelyezését mutatja. (*S*) nagyobb ólomlap, (*K*) ólomból készült szekrény, amelyek hivatása, hogy a fényérzékeny lemezt, a szétszórt sugaraktól védjék. (*R*) csőtoldaléknak kettős szerepe van. Egyrészt azon a készülék belsőjébe láthatunk, másrészt a kristályon és fényérzékeny lemezen áthaladt



47. kép.

sugarak ezen át kijuthatnak a készülékből, anélkül, hogy szilárd falba ütköznenek, s így meggátolja a másodlagos sugarak keletkezését.

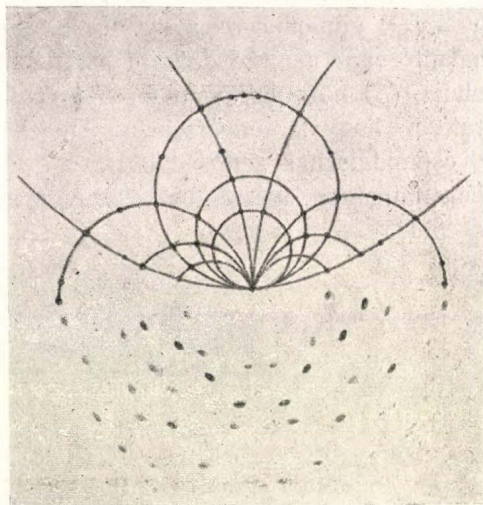
A 47. kép, Friedrich és Knipping eljárásával, a fényérzékeny lemezen nyert képek egyikének másolata. Mint e képről látszik, a Röntgen-sugár egyrésze, a kristályon áthaladva eredeti irányát folytatja; ennek felel meg a kép közepén lévő folt, de egyrésze, pamatonkint szétszóródik. A szétszórt sugárpamatoknak felelnek meg a kisebb pontok. Mint ez, de még jobban a 48. kép mutatja, e pontok szabályosan helyezkednek el.

Ily módon különböző kristályokkal különböző képet kapunk, de egy és ugyanazon kristály is, más és más képet fog adni aszerint, amint azt más és más módon helyezzük a Röntgen-sugár útjába. Laue, Bragg

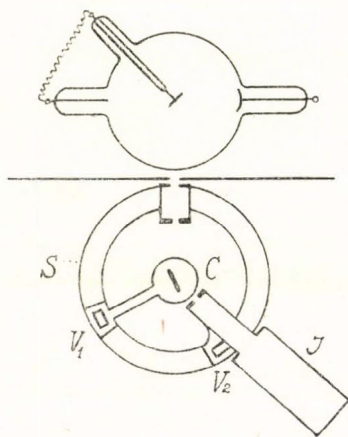
és mások, az így nyert képekből, a kristályanyag molekuláinak, illetve az atomoknak elrendeződésére vonnak következtetést.

A leírt kísérletekből Bragg W. L. azt következtette, hogy a kristálylapok felületén a Röntgen-sugaraknak, bizonyos fokig tükröződniök kell és, hogy a tükrözött sugaraknak, a Röntgen-sugár összetételéről fölvilágosítást kell adniok.

A kísérleti berendezést, melylyel Bragg föltevését bebizonyította, a 49. vázlatos rajz mutatja. Az eszköz használt készülék, alapjában spektrométerhez hasonló, csak-hogy ennél a fényforrást Röntgen-lámpa, a prizmat vagy optikai rácsot a (C) kristály, a távcsövet pedig a J ionizáló kamra helyettesíti. A C kristály kis, forgatható asztalkán ül, ennek helyzetét, az $S_1 S$ -skálán mozgó, V_1 noniuson olvashatjuk le. V_2 nonius az ionizáló kamra állását mutatja. A leírt berendezésnél a tükrözött sugarak



48. kép.



49. rajz.

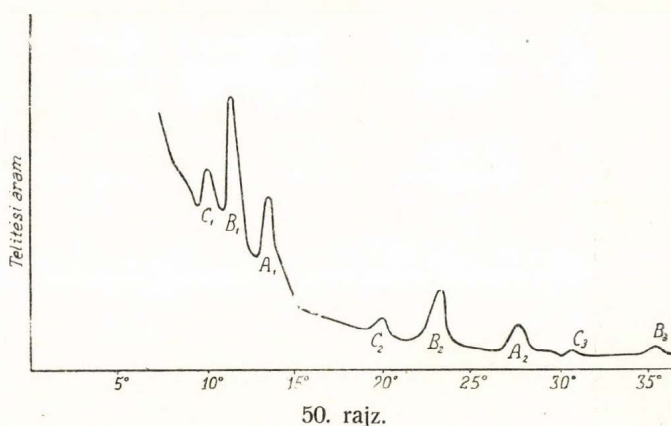
az ionizáló kamrába jutva, abban áramot létesítenek. Bragg vizsgálatai szerint, a kristály és az ionizációs kamra más és más helyzetében mért telítési áram más és más lesz. Ha e részek helyzetét lassú forgatással változtatjuk s közben a tükrözött sugarak okozta telítési áramot állandóan figyeljük, úgy azt tapasztaljuk, hogy az áram egyideig nő, maximumot ér el, majd csökken. Ez többszörösen ismétlődik. Hogy e jelenség miként változik, az 50. rajz tünteti föl. A rajz függőleges tengelyére Bragg az észlelt telítési áram nagyságát, a vízszintes tengelyre, a törés szögét mérte föl. Bragg a rajzon lát-

ható maximumok között, csoportokat különböztet meg, amelyek mindegyike három tagból áll. Ezeket A , B , C betűkkel jelzi. Újabban e csúcsokat, α , β , γ betűkkel jelölik. Bragg az optikai rácsoknál használatos

$$\lambda = 2d \cos \Theta$$

képlet segítségével, az egyes maximumokat okozó sugarak hullámhosszát is kiszámította. A fenti képletben λ a hullámhosszat, Θ a törési szöget, d a rács állandót jelenti.

Ez utóbbi érték, a jelen esetben, amikor az optikai rács szerepét valamilyen kristály tölti be, természetesen csak föltevések alapján számítható ki. B r a g g föltelezi, hogy a kristályokban, az atomok rétegesen helyeződnek el s azok elrendezése minden második rétegben egyenlő. Ez esetben B r a g g föltevése szerint, két egyforma elrendeződésű atomréteg egymástóli távolsága adja meg d értékét, vagyis $d = \frac{a}{2}$, ahol a , a kristályt alkotó elemek atómjainak egymástóli távolságát jelenti. a



50. rajz.

értékét, az egyes kristályoknál ki lehet számítani. Így például a konyhasót alkotó Na és Cl atomok egymástóli távolságát B r a g g,

$$a = \sqrt[3]{\frac{1}{4.56 \times 10^{22}}}$$

képlettel számítja ki, ahol 4.56×10^{22} , az egy köbcéntiméteres konyhasó kockában lévő nátrium és klóratómok számát jelenti. Ugyanis, ha valamely vegyület egy mólnyi mennyiségében lévő molekulák számát 6.2×10^{23} -nak vesszük, úgy az egy gramm konyhasóban lévő nátrium-kloridmolekulák száma $\frac{6.2 \times 10^{23}}{58}$ s miután a kristályos konyhasó fajsúlya 2.15, az egy köbcéntiméterben lévő nátriumkloridmolekulák száma $\frac{6.2 \times 10^{23} \times 2.15}{58} = 2.28 \times 10^{22}$ és a nátrium- és klóratómok száma 5.56×10^{22} lesz.

Bragg azt találta, hogyha a tükröző kristályt kicseréli, úgy az egyes maximumokat okozó sugaraknak, a fönti képlettel számított hullámhossza ugyanaz marad, de megváltozik, ha a Röntgen-lámpát olyan-
nal cseréli ki, amelynek antikatódja, platina helyett, más fémből készült. E szerint, *a tükrözött sugaraknak minősége független attól, hogy milyen kristály tükrözi azokat, de függ az antikatód anyagától, vagyis attól az anyagtól, amelyhez ütődve, a katódsugár, a Röntgen-sugarat kiváltotta.*

Barkla, a Röntgen-sugarak áthatoló tehetségét (aluminium lemezen) vizsgálva, már régebben tapasztalta, hogy az, az antikatódul használt fém anyagától függ, s hogy a sugár áthatoló tehetsége, vagy miként ő nevezte keménysége, az antikatódul használt fém atómsúlyának növekedésével együtt nő.

Barkla szerint, a fémek legtöbbjével kiváltott Röntgen-sugárban, kétféle sugárcsoportot lehet megkülönböztetni, amelyek egyikét a keményebb csoportnak, *K series*, a másikat a lágyabb csoportnak, *L series* nevezte el. Szerinte a kisebb atómsúlyú fémekből kiváltott sugárban a *K series*, a nagyobb atómsúlyú fémektől kiváltott sugárban az *L series*be tartozó sugarak az uralkodók.

Mosley St. G., Bragg eljárását tökéletesítve azt találta, hogy az általa használt, érzékenyebb készülékkel, a Bragg leirta *A, B C* maximumok közül, az *A* és *B* maximum, még két-két maximumra bontható föl, tehát a tükrözött sugarakon összesen öt maximumból álló csoportok ismerhetők föl s ő az egyes maximumokat, α , β , γ , δ , ε betűkkel jelöli. Szerinte e maximumok, az *L series*be tartozó sugarakra jellemzőek, míg a kisebb atómsúlyú fémekből kiváltott *K series*be tartozó sugarak tükrözésekor, leginkább két maximum észlelhető, melyeket, α , β betűkkel jelez.

Mosley, az ionizáló kamrát, megfelelően elhelyezett fényérzékeny lemezzel helyettesítve, azon vonalas színeképet (Röntgen-spektrumot) kapott, amelyen az egyes vonalak, az ionizáló kamrában észlelhető maximumoknak felelnek meg. A 51. kép, egy platina antikatódodon kiváltott és konyhasókristályon tükrözött

51. kép.



Röntgen-spektrum másolata (a képet Seemann H., a *Physikalische Zeitschrift* 1917. évfolyamának 242. lapján megjelent dolgozatából vettük át).

Mosley, Barkla és Bragg észleléseit, hogy a Röntgen-sugarak minősége az antikatód anyagától függ, megerősítette, de szerinte, ez nem az atómsúlynak, hanem az elektrónelméletnek megfelelően, az atómszámnak (megtöltés) függvénye s képletet is közöl, amely ez összefüggést mutatja. Mosley számítása alapjául, a hullámhossz helyett, a rezgési számot veszi. Szerinte, ha az α_1 -vonalat (vagy maximumot) okozó sugár rezgési számát megállapítjuk, úgy ebből

$$\nu = \frac{3}{4} \nu_0 (N-a)^2,$$

illetve

$$\nu = \frac{5}{36} \nu_0 (N-b)^2$$

képletek segélyével kiszámíthatjuk az antikatód anyagát alkotó elem atómszámát. A fenti képletekben ν a talált rezgésszámot, ν_0 az úgynevezett Rydberg-féle alap rezgésszámot, a és b , egy-egy állandót (a közelítőleg $= 1$, $b = 7.4$) és N az atómszámot jelenti. Az első képletet Mosley szerint akkor használhatjuk, ha a számítást, a K seriesbe tartozó sugár rezgés számára alapítjuk (az ezüsthöz kisebb atómsúlyú elemekből kiváltott Röntgen-sugaraknál), a második képletet, ha számítás, az L seriesbe tartozó sugáron alapszik. (Ezüstnél nagyobb atómsúlyú elemekből kiváltott sugár.)

Mosley, a fenti képletek helyességének egyik bizonyítékát abban látja, hogy azzal, a kobalt atómszámát 27, a nikkelt pedig 28-nak számítja, noha az előbbinek atómsúlya 58.97, az utóbbi pedig 58.68, tehát az előbbié nagyobb, mint az utóbbié; vagyis ez is bizonyítaná, hogy a sugár minőségének változása nem az atómsúlynak, hanem az atómszámnak függvénye. Szerinte emellett szól az is, hogy kémiai tulajdonságai alapján, mint az alábbi táblázatban is látjuk, Mendelejeff rendszerében az argon, a nálánál kisebb atómsúlyú kálium előtt és a jód, a nálánál nagyobb atómsúlyú tellur után foglal helyet.

A táblázatot Fajans közleményéből vettük át s ebben az atomjegye elé irt szám, a táblázatban elfoglalt sorszámot, illetve a megtöltés nagyságát, vagyis az atómszámot adja meg. A rádióaktív elemek közül, csak a leghosszabb életű elem atomjegye van, a táblázat megfelelő helyére bejegyezve.

A dezintegrációs-, az elektrón-, a plejad- és az atómelmélet.
Az elmondottak szerint, a rádióaktív jelenségeket, az atomokon belül végbe menő változások okozzák. E fölfogás tehát közelről érinti az atómelméletet, ennél fogva helyénvaló, ha megvizsgáljuk, hogy e jelenségek tanul-

	O			VIII		I		II		III		IV		V		VI		VII	
						<i>a</i> <i>b</i>		<i>a</i> <i>b</i>		<i>a</i> <i>b</i>		<i>a</i> <i>b</i>		<i>a</i> <i>b</i>		<i>a</i> <i>b</i>		<i>a</i> <i>b</i>	
1. <i>H</i> 1·008	2. <i>He</i> 4·00			3. <i>Li</i> 6·94		4. <i>Be</i> 9·1		5. <i>B</i> 11·0		6. <i>C</i> 12·00		7. <i>N</i> 14·01		8. <i>O</i> 16·00		9. <i>F</i> 19·0			
	10. <i>Ne</i> 20·2			11. <i>Na</i> 23·00		12. <i>Mg</i> 24·32		13. <i>Al</i> 27·1		14. <i>Si</i> 28·3		15. <i>P</i> 31·04		16. <i>S</i> 32·06		17. <i>Cl</i> 35·46			
	18. <i>A</i> 39·88			19. <i>K</i> 39·10		20. <i>Ca</i> 40·07		21. <i>Sc</i> 44·1		22. <i>Ti</i> 48·1		23. <i>V</i> 51·0		24. <i>Cr</i> 52·0		25. <i>Mn</i> 54·93			
	26. <i>Fe</i> 27. <i>Co</i> 28. <i>Ni</i> 55·84 58·97 58·68			29. <i>Cu</i> 63·57		30. <i>Zn</i> 65·37		31. <i>Ga</i> 69·9		32. <i>Ge</i> 72·5		33. <i>As</i> 74·96		34. <i>Se</i> 79·2		35. <i>Br</i> 79·92			
	36. <i>Kr</i> 82·92			37. <i>Rb</i> 85·45		38. <i>Sr</i> 87·63		39. <i>I</i> 88·7		40. <i>Zr</i> 90·6		41. <i>Nb</i> 93·5		42. <i>Mo</i> 96·0		43. —			
	44. <i>Ru</i> 45. <i>Rh</i> 46. <i>Pd</i> 101·7 102·9 106·7			47. <i>Ag</i> 107·88		48. <i>Cd</i> 112·40		49. <i>In</i> 114·8		50. <i>Sn</i> 118·7		51. <i>Sb</i> 120·2		52. <i>Te</i> 127·5		53. <i>J</i> 126·92			
	54. <i>Xe</i> 130·2			55. <i>Cs</i> 132·81		56. <i>Ba</i> 137·37		57. <i>La</i> 58. <i>Ce</i> 59. <i>Pr</i> 139·0 140·25 140·6		60. <i>Nd</i> 61.— 62. <i>Sm</i> 63. <i>Eu</i> 144·3 150·4 152·0									
	64. <i>Gd</i> 65. <i>Tb</i> 66. <i>Ds</i> 157·3 159·2 162·5			67. <i>Ho</i> 68. <i>Eu</i> 69. <i>Tu</i> 163·5 167·7 168·5		70. <i>Yb</i> 71. <i>Lu</i> 72.— 173·5 175				73. <i>Ta</i> 74. <i>W</i> 181·5 180·4						75.—			
	76. <i>Os</i> 77. <i>Ir</i> 78. <i>Pt</i> 190·9 193·1 195·2			79. <i>Au</i> 197·2		80. <i>Hg</i> 200·6		81. <i>Tl</i> 204·0		82. <i>Pb</i> 207·20		83. <i>Bi</i> 208·0		84. <i>Po</i> (210·0)		85.—			
	86. <i>Em.</i> 222.			87.—		88. <i>Ra</i> 226·0		89. <i>Ac</i> (227)		90. <i>Th</i> 232·15		91. <i>Bv</i> (234)		92. <i>U</i> 248·2					

mányozása közben kialakult új elméletek, milyen hatással vannak az atómelméletre, illetve az abból kialakult régibb fölfogásainkra.

A dezintegrációs elmélet szerint, a *rádióaktív elemek* állandó bomlásban vannak s belőlük új *elemek* keletkeznek. E fölfogás szerint, az atómoknak még különálló részekből kell állaniok. Maga az elmélet csak rádióaktív elemekről szól s nyílt kérdésnek hagyja, hogy valamennyi elemet vagy csak azokat tartsuk rádióaktíveknek, amelyeknek sugárzó-tehetségét, kísérletileg ki tudjuk mutatni.

Soddy, a rádióelemekről szóló könyvében kifejtett ama nézetével, hogy a kálium és rubidium sugárzó tehetségét nem tekinti rádióaktív folyamat eredményének és azzal a megjegyzésével, hogy az eddig rádióaktíveknek fölsimert *elemek* megállapított, vagy gyanított atómsúlya 206-nál nagyobb, burkoltan bár, de azon fölfogást vallja, hogy csak az ólomnál nagyobb atómsúlyú *elemek* rádióaktívek. E fölfogás nem helyes, illetve nem logikus akkor, ha a rádióaktív anyagokat *elemeknek* nevezzük, mert vagy általános tulajdonsága az *elemeknek* a rádióaktivitás, vagy a rádióaktív anyagok nem valódi elemek, csak az elemekhez hasonlóak, amelyek valamilyen, a molekuláknál szilárdabb összetételű részecskékből állanak. Ez esetben azonban nem helyes, ha azoknak chemiaileg előállítható legkisebb részecskéit *atómoknak* nevezzük, sokkal helyesebb, ha azok elnevezésére, a kezdetben használatos *metabolon* e nevezést tartjuk meg.

A dezintegrációs elmélet nem mondja ki, hogy az összes elemek rádióaktívek, de logikailag következik ez abból, ha a rádióaktivitást az *elemek* tulajdonságának mondjuk. E következtetésnek egyébként, a rádióaktivitás terén szerzett, eddigi tapasztalataink sem mondanak ellen, sőt több oly tapasztalatunk van, amely e fölfogás mellett szól. Így e fölfogás mellett szól a kálium és rubidium sugárzótehetsége is. Igaz ugyan, hogy az elemek legtöbbjénél eddig, még nem sikerült sugárzótehetséget megállapítani, de, mint már említettük, a rádióaktíveknek ismert anyagok között is találunk olyanokat, amelyek sugárzótehetségét kimutatni nem tudták; ezek legtöbbjéről később állapították meg, hogy csak különösebb berendezéssel és érzékenyebb eszközökkel kimutatható, lágy β -sugarakat lövellnek ki; az α -sugarakról is tudjuk egyrészt, hogyha kezdeti sebességük kisebb a kritikus sebességnél, úgy azokat a mai módszerekkel nem mutathatjuk ki, másrészt, hogy a rádióaktív anyagok sugárzásának intenzitása annál nagyobb, minél rövidebb azok életkora; minél hosszabb életkorú tehát valamely rádióaktív anyag, annál nehezebb annak sugárzótehetségét kimutatni, s bizonyos határon túl az, a mai eszközeinkkel már nem állapítható meg. Az elmondottak szerint tehát, több lehetősége van annak, hogy az elemek rádióaktívek lehessenek, anélkül, hogy azt kimutatni tudnók. E fölfogást támogatják Strutt adatai, melyek szerint,

több, leginkább berillium- és cirkóniumtartalmú ásványban nagyobb mennyiségű héliumot talált, noha a bennük kimutatható rádióaktív anyagok mennyisége nagyon kevés. Ez adatok tehát amellett szólnak, hogy ez ásványok egyik vagy másik alkotórésze α -sugarakat lövell ki, ezeket, a mostani készülékeinkkel, kimutatni nem tudjuk, de az ezekből hosszú idő alatt keletkezett hélium, a tömör ásványban fölhalmozódott.

Azon föltevésnek, hogy a kis atómsúlyú elemek is átalakulást szenvednek, egyik bizonyítékát egyesek abban látják, hogy az elemek olyan csoportokra oszthatók, amelyek egyes tagjainak atómsúlya egymástól, kerek számban négygyel, tehát egy héliumatóm tömegével különbözik. Wulf és Van de Brock közöltek ilyen atómsúlytáblázatokat, amelyek szerintük azt bizonyítanák, hogy az összes elemek, a legnagyobb atómsúlyú uránium- és thoriumnak bomlási terméke.

E táblázatokból vont következtetésnek, eltekintve attól, hogy a táblázat egyes tagjainak atómsúlya meglehetősen mértékben különbözik a számított atómsúlytól, ellentmond az, hogy a Földünkön a héliumnak csak igen kis mennyisége található. Ugyanis, az ezen fejezet elején közölt összeállítás szerint, ahhoz, hogy egy atóm uránium, egy atóm ólomra alakulhasson át, nyolcz atóm héliumnak kell szabaddá válnia, ennél fogva, ha a kis atómsúlyú elemek mind, az uránium- és thoriumnak, héliumatómok kilépése mellett keletkezett átalakulási termékei volnának, úgy a Földünkön található héliumatómok számának, az összes többi elem atómjainak számát sokszorosán felül kellene mulnia. Ez ellenvetés ellen fölhozhatjuk azt, hogy a hélium gázalakú és hogy a sűrűsége sokkal kisebb mint a levegőé, ennél fogva lassankint, a levegő legfelsőbb rétegeibe diffundál; emellett szólna az a körülmény is, hogy az égitestek színeképében a hélium színe nagyon erősen látszik; de nehezen hihető, hogy a Föld legfelső, ritka légkörében, ily óriási tömegű hélium foglalhasson helyet. Egyébként, ha el is fogadjuk azt, hogy a rádióaktivitás az összes elemek tulajdonsága, nem tudjuk belátni, miért kell azoknak mind, az urániumból és thoriumból keletkezniök, miért nem lehettek kisebb atómsúlyú olyan elemek is már kezdettől fogva jelen, amelyeknek átalakulása sokkal lassabban megy végbe, mint az uránium és thorium átalakulása, amikor ezekről amúgyis azt kell föltételeznünk, hogy ha ezek tényleg szenvednek átalakulást, úgy e folyamatnak rendkívül lassúnak kell lennie. Ezenkívül, az elektron-elmélet máris kénytelen föltenni azt, hogy az atóm magjában héliumatómokon kívül, hidrogénatómok is foglalnak helyet; ebből kifolyólag már többen fölvetették azon gondolatot, hogy rádióaktív átalakulás nemcsak hélium-, hanem hidrogénatómok kilépése közben is megtörténhetik; de — ha már találgatásokba bocsátkozunk, — úgy föltehetjük azt is, hogy az atómmag fölépítésében még más, a hidrogénnél kisebb atómsúlyú ősatómok is résztvesznek, amilyeneket egy másik,

a rádióaktivitástól függetlenül kifejlődött elmélet tételez föl.¹ Ez azonban, mind csak föltevés, amit bizonyítani nem tudunk; de nem szabad számításon kívül hagynunk, hogy a rádióaktivitást mindössze csak húsz éve ismerjük; ez alatt rövid idő alatt, sok olyat ismertünk meg, amiről azelőtt halvány fogalmunk sem volt.

Azt, hogy az atomok még összetettek lehetnek, azelőtt sem tartottuk lehetetlennek, de nem igen beszéltünk erről, mert arra, nem igen volt támaszpontunk; a rádióaktivitás azonban fölvetette e kérdést s így, miután az idő rövidsége miatt lehetetlen volt, hogy a kísérleti adatok, a kísérletek közben fölmerült kérdések mindegyikére megadják a feleletet, nem csodálkozhatunk azon, hogy a kísérleti adatokból vont következtetésen felül, egyéb föltevéseket és lehetőségeket is megvitatnak.

Az urániumot, a thoriumot és rádiumot, az eddigi ismereteink alapján elemeknek kell tartanunk és semmi okunk nincs abban kételkedni, hogy az azokon észlelhető rádióaktív folyamat, miként azt, a dezintegrációs elmélet tanítja, ez anyagok átalakulásának következménye, a kérdés csak az lehet, hogy e folyamat csak azon anyagokra korlátozódik-e, amelyeken e tulajdonságot eddig kimutatni sikerült, vagy pedig, hogy a rádióaktivitás az elemeknek, ezelőtt nem ismert, általános tulajdonsága-e. Azt, hogy a rádióaktivitás az elemek általános tulajdonsága, eddig bebizonyítani nem sikerült, de annak, hogy ezt föltételezhessük, az eddigi chemiai ismereteink, egyáltalában nem mondanak ellen.

A dezintegrációs elmélet, legközelebről az atom-elméletet érinti. Dalton, az atom-elmélet megalapítója, egyszerű és összetett atomokat különböztetett meg, egyszerűeknek, a most egyszerűen atomoknak nevezett részecskéket, összetetteknek, a molekulákat nevezte. Dalton ezen elnevezése már magában foglalta azt, hogy az atomokat oszthatatlanoknak tételezzük föl, de e kényszer megszűnt, mihelyt az atom és a molekula elnevezés vált általánossá. Az 1889-ben, tehát jóval a rádióaktivitás fölfedezése előtt megjelent Lengyel Béla chemiai könyvében, a következő meghatározást találjuk: „Az atom azon legkisebb része a

¹ Morosoff, Nicholson és mások, azon körülményből, hogy a Nap és az állócsillagok, de főként a ködfoltok színekében a hidrogén és hélium vonalai öitünőek, továbbá, hogy azokban olyan vonalak is láthatók, amilyenek a földi elemekkel előállítható színeképek egyikében sem találhatók meg; ezenkívül, a csillagászok azon föltevéséből, hogy a ködfoltok még ki nem alakult, össze nem sűrűsödött égitestek, azt következtetik, hogy a hidrogén és a hélium, a mai elemek ős alkotórészei; ilyen ős alkotórészei volnának még azon ősi, vagy protoelemek is, amelyek az említett, földünkön ismeretlen színeképet adják. Ez ős elemek, az égitestekben még szabadon találhatók. Morosoff a hidrogénen és héliumon kívül még két, Nicholson három, ős, vagy protoelemet tételez föl, ezeket *coronium*, *nebulium* és *protofluor*-nak nevezi; ezek atómsúlya négynél kisebb, a coroniumé, még egynél is kisebb volna; ezek, különbözőképpen csoportosulva, alkotnák a mai elemeket.

molekulának (s így a testeknek is), melyet semmiféle *eddig ismert hatás által föl nem oszthatunk*.“ E meghatározás tehát csak azt mondja ki, hogy az atómot mi nem tudjuk részekre bontani, de azt nem mondja ki, hogy az, önönmagában nem bomolhatik föl, sőt azt sem zárja ki, hogy valaha sikerülni fog azt mesterségesen szétbontani, csak azt mondja ki, hogy az eddig ismert hatásokkal nem sikerült.

A dezintegrációs elmélet, rádióaktív elemekről szól, mert, az urániumot, thoriumot, és rádiumot, a mostani ismereteink alapján elemeknek kell tartanunk, de nem mondja ki, hogy az összes elemek rádióaktívek, mert ezt eddig, még bebizonyítani nem sikerült. Úgy vagyunk most e kérdéssel, mint a mult század közepéig, a vegyületekkel voltunk. Addig a szerves és nem szerves vegyületek között éles határt vontak s az előbbiekről azt tartották, hogy azokat mesterségesen nem lehet előállítani s hogy azokra azon törvények, amelyeknek az utóbbiak hódolnak, nem érvényesek. Azóta e válaszfalak ledőltek. Ma már tudjuk, hogy a szén és a többi vegyületek között, ilyen különbségek nincsenek. Lehet, hogy a további kutatások az elemekről is azt fogják mutatni, hogy azok mind rádióaktívek; ez esetben, nem fogunk rádióaktív és nem rádióaktív elemekről beszélni, hanem a rádióaktivitást, mint az elemek vagy atóмок általános tulajdonságát fogjuk főlemlíteni; de lehetséges az is, hogy az ezutáni vizsgálatok azt fogják bizonyítani, hogy csak azok az anyagok rádióaktívek, amelyeket ma is olyanoknak ismerünk, de ez esetben, e vizsgálatok azt is ki fogják mutatni, hogy ezen anyagok és az elemek között különbségek vannak és ez esetben ez anyagokat, nem fogjuk elemeknek nevezni.

Az elektrón-elmélet, noha az létét a dezintegrációs elméletnek köszöni, attól bizonyos mértékben független. A dezintegrációs elméletből az, hogy a rádióaktív anyagok összetettek, önként következik, de nem következik, hogy a nem rádióaktív elemek is összetettek. Az elektrón-elmélet viszont, azt mondja ki, hogy az összes elemek összetettek, de nem mondja ki azt, hogy azok egyúttal rádióaktívek is.

A plejad-elmélet, a dezintegrációs-elmélet kiegészítésére szolgál s részletesebben magyarázza az egyes rádióaktív folyamatokat. Ez elmélet megkísérli, a rádióaktív elemeket, az elemek periodusos rendszerébe osztani s így, a rádióaktivitásról szóló ismereteink általánosítására törekszik. A plejad-elméletet több adat támogatja, de, miután az elemekről alkotott, régibb fölfogásunkkal ellenkezik, több ellentmondásra szolgáltatott okot.

A plejad-elmélet bizonyítására, gyakran emlegetik a Röntgen-spektrumokat. Ez elméletet támogatja több, az előbbi fejezetben föl-sorolt adat. Ezek közül kiemeljük: az uránium *I* és uránium *II* létezése és elválaszthatatlansága mellett fölhozott érveket. S o d d y kísérleteit,

amelyek szerint, a rádiumot mezothorium I-től elválasztani nem sikerül; az ónium viselkedését és azt, hogy azon, Auer előállította óniumthorium-készítmény, melynek óniumtartalmát Hönigschmid 30%-osnak becsüli, teljesen a thorium színképét mutatja s abban egyetlen, a thoriumtól elütő vonalat nem találunk; végül a Hönigschmid és Soddy, eddig még nem említett kísérleteit, amelyeket az uránium- és thoriumtartalmú ásványokból nyert ólommal végeztek. Hönigschmid és Horovitz kisasszony, 1914-ben közölt adatai szerint, Kelet-Afrika Morogoro államából nyert, urániumszurokérczből előállított ólom atómsúlya 206·05 és a Norvégiában talált, bröggeritből előállított ólom atómsúlya 206·06 volt. E két adat, ha a rádium atómsúlyát 206-nak vesszük és föltételezzük, hogy az ólom ebből, 5 héliumatóm kilépése közben keletkezik, e föltevéssel szépen egyezik. Soddy, Ceylonból nyert thoritból, amelyben 61·95% thorium és 1·9% uránium mellett, 0·39% ólmot talált, az ólmot különválasztotta s ennek atómsúlyát, titrimetrikusan meghatározva, 208·5-nek találta. Egy másik kísérletében, ugyanezen ólom fajsúlyát meghatározva és azon föltételből kiindulva, hogy az izotop elemek atómtérfogata egyenlő, tehát a különböző izotop elemek fajsúlya különböző lesz, annak atómsúlyát 207·74-nek kapta. Hönigschmid, 1917-ben megjelent közleménye szerint, a Soddy előállította ólmot, ólomkloriddá alakította s ezt megvizsgálva, az ólom atómsúlyát 207·77-nek találta. Hönigschmid számítása szerint, e készítményben mintegy 10% „urániumólom“-nak és 90% „thoriumólom“-nak kell lennie s így a fönti adatból a „thoriumólom“ atómsúlya 207·9-nek adódik. Elméletileg a „thoriumólom“ atómsúlyának 208·1-nek kell lennie.

A közölt, a plejad-elméletet támogató érvekkel szembeállíthatjuk, hogy a Röntgen-spektrumokból vont következtetés, tulajdonképpen nem a plejad-, csak az elektrón-elméletet támogatja, mert a Röntgen-spektrumokból vont következtetés, csak azt mondja, hogy e színképet, az atommag körül keringő elektronok rezgése okozza és ez függ azok számától, illetve az azzal egyenrangú magtöltés nagyságától, de nem mondja ki, hogy az atomoknak egyúttal rádióaktíveknek is kell lenniök s nem mondja ki azt, amit a plejad-elmélet, hogy az elemek, izotopok keverékéből állhatnak. Meg kell még jegyeznünk, hogy az elektrón-elmélet, Mosley kísérleteiben és az azokra alapított számításaiban, csak erős támogatást nyert, de nem mondhatjuk, hogy a számítások azt *föltétlenül bizonyítják*; mert a kísérleti tény csak az, hogy a Röntgen-sugarak színképét adnak; az, hogy a színképek minősége függ az atómszámtól, csak több, föltevéssre alapított számítás eredménye; a számítási mód még maga sem egyeztethető meg teljesen az elektrón-elmélettel; máris megkísérelték e képleteket helyesbiteni, tehát maga ez a kérdés is még vita tárgya.

Ami az uránium *I* és uránium *II* létezése mellett fölhozott érveket illeti, arra szintén azt jegyezhetjük meg, hogy ez esetben a kísérleti adat csak annyit mutat, hogy az uránium kétféle hatótávolságú α -sugarat lövell ki; azt, hogy e kétféle sugár, két, egymástól el nem választható, különálló anyagból ered, magából a plejad-elméletből következtetjük, tehát e következtetés maga, nem lehet a plejad-elmélet bizonyítéka. Igaz ugyan, hogy e következtetés szépen egyezik azzal a föltevessel, hogy valamely egynemű rádióaktív anyag, csak egyféle α -sugarat lövell ki, és, hogy ez a következtetés, beleillik az általános keretbe s mintegy lánczszem abban a képben, melyet az uránium átalakulásáról alkotunk, de miként a thorium *C* leírásánál említettük, Rutherford újabban közölt kísérletei szerint, a thorium *C* α -sugaraik között különféle, eddig nem ismert hatótávolságú sugarak is találhatók. Ha Rutherford kísérleti adatai beigazolást nyernek, úgy a thorium *C* átalakulása nem történik olyan, a plejad elméletnek megfelelő simán, mint azt eddig képzeltük s így könnyen képzelhető, hogy az uránium kétféle α -sugaraik keletkezésére is, majd más magyarázatot találhatnak.

Soddy állításával szemben, hogy a rádium és a mezothorium *I*-et, egymástól elválasztani nem lehet, gyakran emlegetik a praseodim és neodim, egyáltalában a ritkaföldek keverékeit, amelyek hosszadalmas eljárással, csak lassan választhatók el egymástól. Ez ellenérvvel szemben hangoztatják, hogy a ritkaföldek vegyületeit nehéz ugyan egymástól elválasztani, de frakcionált kristályosítás és lecsapással azok keverékeinek viszonyos mennyisége megváltozik, míg az izotóp rádióaktív anyagok keverékeinél ilyen eltolódás nem észlelhető. De ne feledjük el, hogy az izotóp rádióaktív anyagok mennyiségét, csak sugárzásuk alapján határozhatjuk meg és e meghatározások annyi mellékkörülménytől függnék, hogy azt bajos pontosan megállapítani, hogy egy-egy ilyen művelet után, a keverékek súlyarányában, kisebb eltolódások nem történtek-e.

Azzal, hogy a legerősebb ióniumos készítmények színeképében sem sikerült, egyetlenegy, a thoriumétól elütő vonalat fölfedezni, szembeállíthatjuk, hogy ma már igen erős aktiniumos készítményeket is ismerünk, s ezek színeképében sem sikerült egyetlen olyan vonalat találni, amelyről azt tételezhetnők föl, hogy az, az aktiniumtól ered, noha az aktiniumot lanthan társaságában találjuk s a lanthan atómszáma, a 180. lapon közölt táblázat szerint 57, az aktiniumé pedig 89; tehát e két anyag, olyan távol áll egymástól, hogy azokat, nem tekinthetjük izotópoknak.

Számításunk, továbbá Hönigschmid és Horovitz kísérletei szerint, az uránium, illetve rádiumból keletkezett ólom atómsúlya 206. Hönigschmid és Soddy kísérletei szerint, a thorium átalakulásakor keletkezett ólom atómsúlya, kerek számban 208. Ha fölteszszük, hogy a

földünkön található összes ólom, mind rádiumból és thoriumból keletkezett, úgy annak atómsúlya, 206 és 208 között kell hogy ingadozzék. Az ólom atómsúlyát már régebben és többen vizsgálták, de ilyen ingadozásról említést sehol sem találunk, ellenkezőleg, Baster G. P. és Grover F. L., 1915. évben közölt adatai szerint, nevezett szerzők, hét, földrajzilag egymástól távol fekvő s geológiaiilag is különböző helyekről szerzett, közönséges ólomérczből nyert, ólom atómsúlyát megvizsgálva, azt, egymással és a közönséges ólom atómsúlyával teljesen egyezőnek találták. Ez a fönti föltevés mellett, csak úgy volna lehetséges, ha az uránium és thorium mindenütt egyforma arányban volna jelen; de mivel a thorium és uránium viszonyos mennyisége, a különböző lelőhelyeken nagyon is különböző, föl kell tennünk, hogy a közönséges ólomnak valamilyen más, a rádióaktív után keletkezett ólomtól különböző anyagnak kell lennie.

Rihards Th. W. és Lemberth M., 1914. évben közölt adatai szerint, a szurokérczből (Joachimsthal és Cornwall), carnotitból (Colorado) és uráninitből (Nord-Carolina) előállított ólom atómsúlya 206·57, 206·86, 206·59 és 206·40 volt, noha a közönséges ólom atómsúlyát, 207·15-nek találták. Curie M. ugyanez évben végzett vizsgálatai szerint, szurokérczből, carnotitból és ytrotantalitból előállított ólom atómsúlyát 206·64, 206·36, 206·34-nek, míg a közönséges ólom atómsúlyát, 207·01-nek találta. Hönig Schmid-nek és Horovitz-nak, ugyancsak 1914. évben közölt adatai szerint, a joachimsthal szurokérczből nyert ólom atómsúlya 206·74. Miután a joachimsthal szurokérczben csak nagyon kevés thoriumot találunk, Hönig Schmid azt, hogy az ebből előállított ólom atómsúlya nagyobb a számítottnál, úgy magyarázza, hogy a joachimsthal szurokérczben, a rádiumból keletkezett ólomon kívül, még tekintélyes mennyiségű *közönséges* ólom is van. Ez a magyarázat azonban, magát az elméletet gyengíti, mert a rádióaktív úton keletkezett ólom mellett egy másik fajtájú, a közönséges ólomot kénytelen föltelezni. Fajans ez ellenmondást úgy akarja kiküszöbölni, hogy a rádiumból és a thoriumból keletkezett ólomról azt tételezi föl, hogy azok aránylag gyorsabban alakulnának át, míg az aktiniumból keletkezett ólom sokkal hosszabb életű volna. Fajans ezért, az aktinium atómsúlyát, kerek számban 227-nek tételezi föl, számítása szerint, az ebből keletkezett ólom atómsúlya, kerek számban 207 lesz, s ez volna a közönséges ólom. Fajans, e fölfogás támogatására fölemlíti, hogy Boltwood és mások vizsgálata szerint, a thoriumtartalmú ásványokban csak nagyon kevés ólom található. Boltwood, ez adatokból azt következteti, hogy a thoriumnak nem lehet ólom a végterméke. Holmes A. és Lawson R. W. egy általuk vizsgált thoritban, 29·2% thorium és 0·41% uránium mellett, mindössze 0·02% ólomot találtak. Fajans ez adatokból azt következteti, hogy a thoriumból és rádiumból keletkezett

ólom sokkal rövidebb életű, semhogy az ásványokban ilyen, nagyobb mennyiségben fölhalmozódjék, de e két ólomfajta életkora még elég hosszú ahhoz, hogy azok sugárzótehetségét, eszközeinkkel megállapítani már ne tudjuk; ezekkel szemben, az aktiniumból keletkezett ólom életkora sokkal hosszabb volna, tehát ez hosszabb idő múlva, az uránium-tartalmú ásványokban, nagyobb mennyiségben fog fölhalmozódni, jóllehet az urániumból keletkezett aktiniumnak mennyisége jóval kisebb, mint az abból származó rádiumnak mennyisége. Fajans fölfogásának azonban ellentmondanak, Hönigschmid-nek és Horovitz-nak, a morogori szurokérczből és a norvég bröggeritből nyert ólom vizsgálatánál kapott adatai, amelyek pontosan kiadják az ólomnak a rádiumból számított atómsúlyát, noha ezen ásványokban épúgy jelen kell lennie az aktiniumnak, mint a joachimsthal szurokérczben s ellentmondanak Soddy és Hönigschmid adatai, amelyek szerint, a ceyloni thoritban, aránylag nagyobb mennyiségű, a számítottal egyező atómsúlyú ólom található.

Mint az elmondottakból kitünik, a dezintegrációs elméletet és az elektrón-elméletet beiktathatjuk, az eddigi chemiai ismereteink közzé anélkül, hogy kénytelenek volnánk azokat, vagy az azokból kialakult eddigi fölfogásainkat megváltoztatni vagy módosítani. Nem egészen áll ez a plejad-elméletre. A plejad-elmélet azt mondja, hogy az elem, különböző izotop elemek keveréke lehet. Mi azt tanultuk, hogy az elemek egynemű anyagok, amelyek csak egyféle atómokból állanak. A plejad-elmélet szerint, egy és ugyanazon elemnek atómsúlya különböző lehet. Az eddigi fölfogásunk szerint, az atómsúly, az elemnek jellemző és meg nem változó állandója.

A plejad-elmélet tehát, ha nem is magát az atóm-elméletet, de az elemekről kialakult, régibb fölfogásunkat támadja s ha általánossá lesz, e fölfogásunk megváltoztatására kényszerít bennünket. Ez ellen ma még nemcsak elméleti, de gyakorlati okok is szólnak. Az atómsúlyban nemcsak az elméleti, de a gyakorlati élet is fontos állandóját látja az elemeknek. Hogy a chemiai cikkek nemzetközi forgalmában a bonyodalmat lehetőleg kerüljük, nemzetközi bizottság alakult, amely az atómsúlyokat, két tizedesnyi pontossággal megállapítja s a kereskedelmi cikkek vizsgálatával foglalkozó vegyész számításait, e megállapított atómsúlyok alapján köteles végezni. E megállapodás azonban csak az esetre lehet érvényes, ha egy és ugyanazon elem atómsúlya állandó s értelmét veszíti, mihelyt annak lehetősége megvan, hogy egy és ugyanazon elemi anyag, két különböző származású mintájának atómsúlya különböző lehet. Ilyen eset eddig, a fentemlített kivételével, nem ismeretes. Arra, hogy eddig sem a tudományos, sem a gyakorlati vizsgálataink közben, még a gyanúja sem merült föl annak, hogy valamely elem atómsúlya különböző lehet, azzal magyarázhatjuk, hogy az ólomvegyületek nem oly fontos cikkek, hogy

azok behatóbb vizsgálatával, szélesebb körben foglalkoztak volna, a gyakrabban vizsgált elemek pedig, ha izotopkeverékek is, mindenütt egyforma arányban keveredtek s miután e keverékek egyes alkotórészei, chemiai módszerekkel egymástól nem választhatók el, a vizsgálat alkalmából úgy viselkednek, mintha egyneműek volnának és atómsúlyuk állandó lesz. Ez a magyarázat azonban nem kielégítő, mert ha az elemek mind átalakulnak, úgy a különböző arányban található, izotop ólomkeverékekből keletkezett kisebb atómsúlyú elemeket szintén, különböző arányban elkeveredve kell megtalálnunk.

Mint az elmondottakból kitűnik, a plejad-elmélet még sok ellentmondásra szolgáltat okot, de meg kell jegyeznünk, hogy a plejad-elmélet még egészen fiatal s az utóbbi évek nem igen voltak alkalmasak arra, hogy azt erőteljesebben fejleszthessék. Hogy milyen irányban fog az fejlődni, a jövő titka. Lehet, hogy a rádióaktív anyagokról kiderül, hogy azok nem valóságos elemek s akkor a plejad-elmélet módosulva, csak a rádióaktív anyagokra érvényes szabálylyá alakul, de nem lehetetlen az sem, hogy a jövő kutatásainak sikerülni fog az ellentmondásokat kiküszöbölni, az eddig megoldatlan kérdéseket megfejtetni s ez elmélet általános törvénynyé lesz. Annyi tény, hogy ez elmélet, az ellentmondások ellenére is, a rádióaktív jelenségek közül nagyon sokat igen szépen megmagyaráz és hogy a rádióaktív jelenségek áttekintését megkönnyíti, de amikor ezzel foglalkozunk, nem szabad elfelejtenünk, hogy a természettudós nem dogmákat hirdet, csak a természet titkait kutatja, és hogy az *elmélet* nem azt mondja, hogy amit állít, úgy is van, csak azt, hogy, eddigi ismereteink alapján, úgy magyarázhatjuk.

TÁRGYMUTATÓ.

—

TÁRGYMUTATÓ.

	Oldal		Oldal
Abszorbeziós koefficiens (rádium-emanációé)	94	Átlagos életkor (urániumé)	54
Áktinium A	160	— — viszonya két egymással egyensúlyban levő rádióaktív anyag mennyiségéhez	53
— átalakulási módjának vázlata	162, 169	Ásványok rádiumtartalmának meghatározása	131
— átalakulásának végterméke	162	Ásványvizek rádium-emanáció tartalma	75, 76
— atomsúlya	157	— — tartalmának meghatározása	128
— B	160	Atom-mag	167, 168
— C	161	— elektromos töltése (atomszám)	167, 168, 179
— C ₁	161	— model Rutherford-Bohr-féle	168
— C ₂	161	— -ok és molekulák elhelyeződése a kristályokban	175
— C átalakulási módjának vázlata	161	— súly áktiniumé	157
— chemiai tulajdonságai	157	— — rádiumé	86
— D	161	— — rádium-emanációé	94
— E	169	— — thóriumé	140
— előállítása	156	— — thórium-emanációé	148
— emanáció	159	— — thórium-ólomé	185
— — párolgási hőmérséklete	160	— — urániumé	60
— és átalakulási termékei	156	— — uránium-ólomé	185
— és rádium viszonyos mennyisége a szurokérczben	156	— szám (magtöltés)	179
— eredete	156	— szerkezete Kelvin lord és Thomson elmélete szerint	166
— készítmények értékének meghatározása	163	— — Morosoff és Nieholson elmélete szerint	183
— mennyiségének meghatározása	162	— — Rutherford föltevése szerint	168
— rádióaktív viselkedése	157	Auer-féle izzótestek összetétele	136
— története	156	α -áktivitás	40
— X	159	— részecskék száma, melyeket 1 g rádium másodpercenként kilövell	26
Áktivitás (indukált)	43, 45, 46	— részecskék száma, melyeket 1 g thórium másodpercenként kilövell	141
Anódsugarak	10	— részecskék tömege	22, 26, 27
Átalakulási együttható	47	— sugár	21
— félidő	50	— sugár hatótávolsága	29
— sebesség egyenlete	47	— sugár hatótávolsága csillamban	30, 116
Átlagos életkor	51	— sugár kritikus sebessége	31
— — kiszámítása két egyensúlyban levő rádióaktív anyag viszonyos mennyiségéből	53		
— — (rádiumé) megállapítása	87		
— — (thóriumé) megállapítása	141		
— — (thórium A-é) megállapítása	148		
— — (thórium-emanációé) megállapítása	147		

	Oldal		Oldal
α -sugár sebessége	21	Emanáció mennyiségének meghatározása rádiumos győgszerekben	131
— sugárzó rádióaktív anyagok	113	— mennyiségének meghatározása szilárd- rádiummal való össze hasonlítással	124
— és β -részecskék eredete	168	— (rádium) azonosítása	132
— β - és γ -sugarak	19	— (thórium) azonosítása	155
Berzelium	136	— (vízben talált) mennyiségének kiszámítása	129
Bevezetés	1	— -s módszer	121
Bohr-Rutherford-féle atom-model	168	Emanatórium	117
Bomlási együththató	47	Emánium	156
— — (rádiumé) megállapítása	54	Érték meghatározás, áktiniumos készítmények-é	163
— — (rádium-emanációé) megállapítása	49, 95	— — mezothóriumos készítmények-é	144
— — (thóriumé) megállapítása	141	— — rádiumos készítmények-é 85,	117
— — (thórium A-é) megállapítása	148	Étalon (rádium)	119
— — (thórium-emanációé) megállapítása	147	— (rádium) változása	119
— — (urániumé) megállapítása	54	Faraday-féle sötét tér	5
— félidő	50	Fizikai változások okozói az atomban	168
— sebesség egyenlete	47	Foszforgőzei okozta vezetőképesség	164
— — (rádium rádióaktív lerakódásáé) változása	98	Föld életkora és a rádium	113
— — (thórium rádióaktív lerakódásáé)	150	— melege és a rádium	110
Bomlási termékeitől mentes thórium előállítása	140	Gázionok	12
β -aktivitás	40	Gázok emanációtartalmának meghatározása	128
— részecskék elektromos töltése	31, 33	Geiger és Nuttall szabálya	50
— sugarak	31	Goldstein-féle sugarak	10
— — mágneses spektruma	32	γ aktivitás	40
— — sebessége	32	— sugarak	34
— — viselkedése, ha szilárd testeken haladnak át	34	— sugárzási módszer	119
Carolineum	136	Hatótávolság α-sugarak-é	29
Coronium	183	— — csillámban	30, 116
Coy Mc.-féle szám	62	Hélium keletkezése α -sugárzó rádióaktív anyagokból 22, 27, 93,	113
Csősugarak	10	— — rádium-emanációból	93
Curie (egység)	123	Indukált aktivitás	43, 45, 46
— módszere (emanáció meghatározására)	123	Iónium	71
Dezintegrációs elmélet	44	Ióntöltés nagysága	17
—, az elektrón-, a plejád- és az atom-elmélet	179	Izotop elemek	172
Duane módszere (emanáció meghatározására)	121	Izzótestek (Auer-félék) összetétele	136
δ -sugarak	32	Kálium és rubidium sugárzótehetsége	164
Elektrón	9	Katód-, anód- és Röntgen-sugarak	5
Elektrónok okozta vezetőképesség	164	— sugár	5
Életkor (átlagos)	51	Kelvin lord és Thomson elmélete, az atom szerkezetéről	166
Eloszlási hányados (rádium-emanáció-é)	94	Korpuskulusok	9
Eltolódási szabály	170	Közetek rádiumtartalma	74, 75
Emanációk	45	— thóriumtartalma	135
Emanáció (ionizációs hengerben lévő) mennyiségének kiszámítása	127	Közönséges ólom	187
— meghatározáshoz, víz gyűjtése	128	Kritikus hőmérséklet, rádium-emanáció-é	90
— mennyiségének meghatározása forrásvízben	128	Kritikus sebesség, α -sugaraké	31
— mennyiségének meghatározása gázokban	128	K-series (Röntgen-sugár)	178
		Laue következtetése a Röntgen-sugár viselkedésére	174

Lerakódás (rádióaktív)	45
L-series (Röntgen-sugár)	178
Mache-egység	121
Mágneses spektrum, β -sugaraké	32
Magtöltés (atomszám)	167, 168,
Másodlagos β - és γ -sugarak	35
Mc. Coy-féle szám	62
Melegtermelése a rádiumnak	108
— a thóriumnak	111
— az urániumnak	108
Mennyiségi meghatározás (ákti- nium-é)	162
— — (rádiumé)	117
— — (rádium-emanáció-é)	121
— — (thórium és mezothórium-é)	154
Mérési módszerek (rádióaktív)	36
Metábolon	181
Mezothórium I	142
— II	144
— és thórium mennyiségének meghatározása	154
— mennyiségének definiálása	144
— -nak a thórium egy tonnájá- val egyensúlyban lévő meny- nyisége	143
— -nak rádiumhoz viszonyított áktivitása	144
— -os készítmények értékének meghatározása	154
Millicurie (egység)	123
Milligramm rádium secundum (egység)	122
Molekulák száma, a vegyület mól- nyi mennyiségében	141,
Morosoff és Nicholson elmélete, az atom szerkezetéről	183
Nebulium	183
Níton	95
Nyers rádiumbárium-szulfát rádium- tartalma	83
Ólom (közönséges)	187
Olvadáspont rádiumé	85
Ósatom	166
Óselemek	183
Periodusos rendszer (táblázat)	180
Plejád	172
— -elmélet	168
Polónium	106
Pozitív fény	5
Proto-elemek	183
Protofluor	83
Prout ósatom elmélete	166
Rádióaktínium	158
Rádióaktív anyagok	19
— — mennyiségének viszonya átlagos életkorukhoz	53
— ásványok kora és héliumtar- talma	114
— ásványok kora és ólomtartalma	115
— elemek beosztása a periodusos rendszerbe	171, 173, 179,

Rádióaktív emanációk	45
— -ítás	1
— indukció	43, 45,
— jelenségek elméleti magya- rázata	42
— lerakódások	45
— lerakódások elválasztása az anyaelemtől	46
— mérési módszerek	36
— sugarak kiindulási helye	168
— viselkedése az áktíniumnak	157
— — a rádiumnak	86
— — a thóriumnak	140
— — az urániumnak	61
Rádióthórium	145
Rádium	74
— A	100
— átalakulásának végterméke	107
— átalakulási sorozatának vázlata	107
— atomsúlya	86
— B	101
— bomlási állandóinak megállá- pítása	87
— C	102
— — átalakulási módjának váz- lata	103
— C_1	102
— C_2	102
— C_3	102
— D	104
— előállítása	82
— előfordulása	74
— E	105
— emanáció	87
— — atomsúlya	94
— — azonosítása	132
— — bomlási együtthatójának megállapítása	49,
— — egy gramm rádiummal egyensúlyban lévő mennyi- sége	93
— — eloszlási hányadosa szer- ves oldószerek és levegő között	95
— — víz és levegő között	94
— — elpárolgási hőmérséklete	89
— — forráspontja	90
— — kritikus hőmérséklete	90
— — kritikus nyomása	90
— — ásványos vizekben	75
— — mennyisége forrásgázok- ban	76
— — mennyiségének meghata- rozása thórium-emanáció jelenlétében	134
— — olvadási hőmérséklete	91
— — szinképe	92
— — tisztítása	91
— és áktínium viszonyos mennyi- sége a szurokérczben	156
— és a föld életkora	113

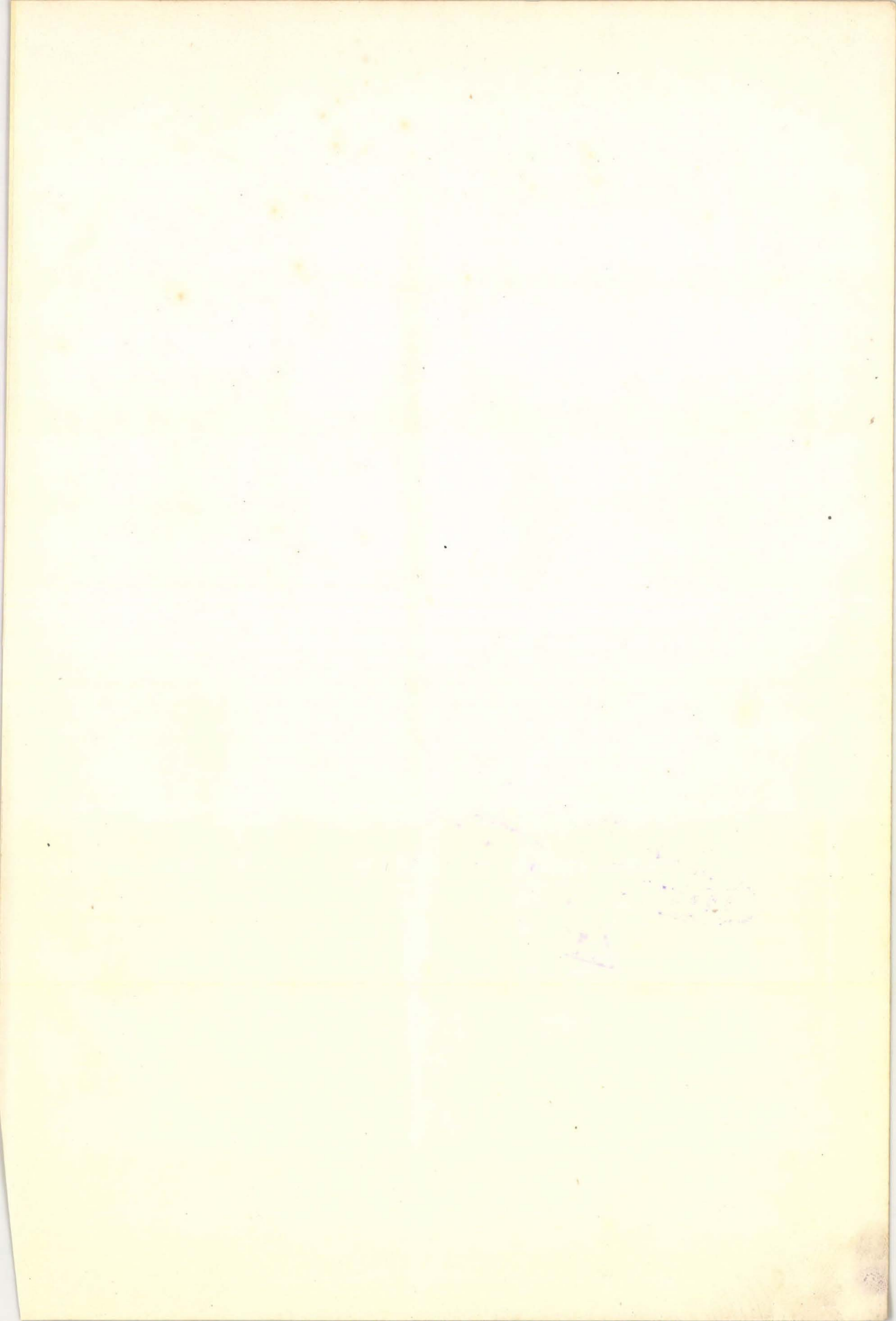
	Oldal		Oldal
Rádium és a föld melege	110	Thórium átalakulási sebességének	
— étalon	119	megállapítása	141
— változása	119	— átalakulási módjának vázlata	153, 169
— <i>F</i>	106	— atomsúlya	140
— fém előállítása	85	— <i>B</i>	149
— <i>C</i>	169	— bomlási együtthatójának meg-	
— hosszúéletű lerakódása	100	állapítása	141
— melegtermelése	108	— bomlási termékeitől mentes	140
— mennyisége a földünkön	78	— <i>C</i>	150
— a kőzetekben	74	— <i>C</i> átalakulásának kvantitatív	
— — a nyers rádium-bárium-		lefolysa	151
szulfátban	83	— <i>C</i> átalakulási módjának vázlata	151
— — -ének meghatározása ás-		— <i>C₁</i>	151
ványokban	131	— <i>C₂</i>	151
— — -ének meghatározása for-		— <i>D</i>	153
rásvizekben	131	— <i>E</i>	169
— — -ének meghatározása ol-		— egy grammjának másodper-	
tokban	131	czenként kilőveit α -részecs-	
— — -i meghatározása	117	kéinek száma	141
— mint gyógyító tényező	117	— egy grammja okozta telítési	
— fém olvadáspontja	85	áram	141
— rádióaktív lerakódása	97	— egy tonnájával egyensúlyban	
— rádióaktív lerakódása átalaku-		levő mezothórium mennyisége	143
lasi sebességének változása	98	— előállítása	136
— rádióaktív viselkedése	86	— előfordulása	135
— rövidéletű rádióaktív lerakó-		— és átalakulási termékei	135
dása	100	— és mezothórium mennyiségi	
— sajátságai	85	meghatározása	154
— sugarai és a testek színvál-		— emanáció	146
tozása	115	— — atomsúlya	148
— története	78	— — átalakulási sebességének	
— uránium aktivitása	63	megállapítása	147
— uránium arányszáma	77	— — azonosítása	155
Rezgési szám (Röntgen-sugáré) ki-		— — párolgási hőmérséklete	147
számítása	178	Thóriumnak évente termelt meny-	
Ritka földek szulfátjainak oldható-		nyisége	137
sága	136, 137	— mennyisége kőzetekben	135
Röntgen-féle sugarak	10	— melegtermelése	111
— lámpa	11	— ólom	185
— spektrum	174	— ólom atomsúlya	185
— sugár <i>K</i> -series	178	— rádióaktív lerakódása bom-	
— sugár <i>L</i> -series	178	lási sebességének változása	150
— sugár rezgési számának ki-		— rádióaktív viselkedése	140
számítása	179	— szulfát oldhatósága	137
Rutherford-Bohr-féle atom-model	168	— tartalmú ásványok	136
Rutherford és Soddy elmélete (dez-		— tulajdonságai	139
integrációs elmélet)	44	— története	136
Rutherford föltevése az atom szer-		— <i>X</i>	145
kezetéről	167	Uránium <i>I</i>	67
Spintariszkop	26	— <i>II</i>	67
Szerző módszere emanáció meny-		— aktivitás	61
nyiségének meghatározására	124, 128	— átalakulási módjának vázlata	69, 70, 169
Stokes-Wichert-féle elmélet a Rönt-		— átlagos életkorának kiszámí-	
gen-sugarakról	174	tása	53
Taszitási módszer	101	— atomsúlya	60
Telérek eredete	112	— előállítása	59
Telítési áram	13	— előfordulása	56
Thórium	135	— és közvetlen átalakulási	
— <i>A</i>	148	termékei	56
— <i>A</i> átalakulási sebességének			
megállapítása	148		

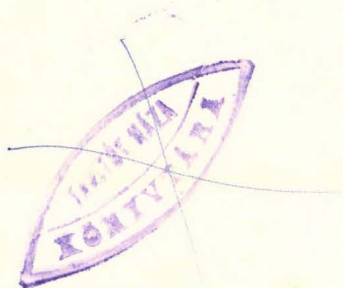
	Oldal		Oldal
Uránium melegtermelése	109	Uránium X urániummal egyensúly-	
— ólom	185	ban lévő mennyiségének ki-	
— ólom atomsúlya	185	számítása	55
— rádióaktív viselkedése	61	— Y	68
— sajátosságai	59	Vegyérték elektron	168
— szurokércz összetétele	56	— eredete	167, 168
— tartalmú ásványok	57	Vízben talált emanáció mennyisé-	
— -telének eredete	112	gének kiszámítása	129
— története	58	Víz gyűjtése emanációs meghatá-	
— X	64	rozása	128
— X_1	66	X -sugarak	10
— X_2	66		

Javítások.

12. oldal 23. sorában *hasonló* helyett *hasonlóan*.
 14. „ 33. „ *arámot* „ *áramot*.
 15. „ 33. „ *hatás* „ *határ*.
 52. „ jegyzet alatt zárójelben (*kiváltott hélium*) helyett (*kiválotott hélium*).
 65. „ 3. és 4. sorában és a kristályokban az összes uránium X-nek mintegy 85%-a szintén leválik helyett, amellyel az uránium X-nek csak, mintegy 15%-a válik le, míg annak 85%-a az oldatban marad vissza.
 69. „ 2. sorában *aránium* helyett *uránium*.
 70. „ 2. „ a nyílak alá irt számok helyett az atómjegyek alá irt számok
 77. „ a táblázat utolsó rovatában 10-1 helyett 10-7.
 179. „ 3. bekezdésében A táblázatot helyett A túlsó oldalon közölt táblázatot
 180. „ táblázat III. rovatának 5. sorában I helyett Y
 185. „ 11. és 12. sorában ha a rádium atómsúlyát 206-nak vesszük helyett, ha a rádium atómsúlyát 226-nak vesszük







1343926

2009 SEP 14